DIE NATURWISSENSCHAFTEN

26. Jahrgang | 11. März 1938 | Heft 10

Die anorganische Skeletsubstanz.

Ihre Zusammensetzung, natürliche und künstliche Bildung.

Von Robert Klement, Frankfurt a. M.[1]

1. Hydroxylapatit, der Hauptbestandteil der anorganischen Skeletsubstanz.

Es sind im Schrifttum zahlreiche Analysen der anorganischen Skeletsubstanz (a. S.) aus dem ganzen Wirbeltierreich mitgeteilt worden, die jedoch nicht alle für eine vergleichende Studie verwertbar sind, weil das Analysenmaterial auf verschiedene Weise gewonnen ist oder weil offensichtlich starke Abweichungen in den Bestimmungen verschiedener Autoren vorhanden sind. Es ist deshalb die a. S. von den verschiedensten Tieren nach zwei gleichartigen Verfahren rein hergestellt und analysiert worden. Nach dem etwas veränderten Verfahren von S. Gabriel (1) werden die zerkleinerten Knochen mit einem Gemisch aus gleichen Teilen Glycerin und 6proz. KOH mehrere Stunden unter Rückfluß gekocht. Für zartere Gebilde, wie z. B. Fischgräten, wird das Verfahren von E. Tiede und H. Chomse (2) angewendet, bei dem die Zerstörung der organischen Substanz durch eine Mischung aus konz. Ammoniak und 30proz. Wasserstoffperoxyd vorgenommen wird. Die aus den so gewonnenen a. S. erhaltenen Analysenwerte sind in Zahlentafel 1

Zahlentafel 1. Analysen der anorganischen Skeletsubstanz.

	Ca	PO_4	CO_3	Mg	Na	K	$Ca : PO_4 : CO_3$
Säugetiere							
Mensch[2]	35,09	46,50	5,69	0,36	0,44	0,07	1:0,559:0,108
Rind[3]	34,68	47,40	5,15	0,52	0,43	0,09	1:0,576:0,099
Rind, Zahnschmelz	37,94	50,63	3,88	0,24	0,45	0,17	1:0,563:0,068
Rind, Zahnbein	34,05	45,80	4,63	1,19	0,40	0,21	1:0,567:0,091
Iltis (Putorius putorius)	35,84	47,39	4,27	—	—	—	1:0,557:0,080
Walroß (Odobenus rosmarus)	35,82	46,48	5,59	0,49	0,57	0,10	1:0,547:0,104
Mittel Säugetiere	35,07	47,37	4,87	0,56	0,46	0,13	1:0,561:0,093
Vögel							
Kormoran (Phalacrocorax aristotelis)	35,62	46,45	5,33	0,78	0,48	0,16	1:0,550:0,100
Möve (Larus argentatus)	35,26	46,42	4,95	0,43	0,51	0,18	1:0,554:0,094
Lumme (Uria aalge)	35,55	46,41	4,38	0,57	0,46	0,14	1:0,550:0,082
Alk (Alca torda)	35,80	45,94	5,04	0,48	0,59	0,16	1:0,545:0,094
Ente (Clangula hyemalis)	36,04	46,61	4,40	0,55	0,41	0,06	1:0,545:0,082
Pinguin (Spheniscus)	35,51	45,10	5,25	—	—	—	1:0,535:0,099
Wildente (Anas boschas)	35,78	45,82	5,18	—	—	—	1:0,540:0,097
Habicht (Astur palumbarius)	36,09	45,23	5,33	—	—	—	1:0,528:0,099
Mittel Vögel	35,71	46,00	4,98	0,56	0,49	0,14	1:0,543:0,093
Mittel Warmblüter	35,39	46,68	4,92	0,56	0,48	0,14	1:0,552:0,093
Reptilien[4]							
Riesenschlange (Boa constrictor)	32,39	43,24	5,83	—	—	—	1:0,563:0,120
Schildkröte (Helydra serpentina)	31,15	43,43	6,13	0,32	0,39	0,07	1:0,588:0,130
Amphibien[4]							
Frosch (Rana esculenta)	31,17	41,56	5,94	—	—	—	1:0,575:0,127
Fische[4]							
Goldbarsch	34,06	48,22	3,59	—	—	—	1:0,598:0,070
Seelachs (Salmo salar)	33,42	46,63	4,07	—	—	—	1:0,589:0,081
Thunfisch (Thynnus)	32,60	45,57	4,68	0,34	0,47	0,08	1:0,589:0,096
Wels (Synodontes)	34,62	49,94	2,98	—	—	—	1:0,607:0,056
Sägefisch (Pristis) (Innenskelet)	33,18	47,38	3,22	0,57	0,31	0,10	1:0,601:0,065
Sägefisch (Zähne)	33,47	47,29	3,01	—	—	—	1:0,596:0,060
Sägefisch (Knochenplättchen der Epidermis)	32,88	47,30	2,96	—	—	—	1:0,607:0,050
Menschenhai, Zähne (Carcharias fasciatus)	30,76	45,09	1,47	—	—	—	1:0,619:0,032
Mittel Fische	33,12	47,18	3,25	—	—	—	1:0,600:0,066

[1] Institut für anorganische Chemie der Universität.
[2] Mittel aus 7 Analysen verschiedener Knochen von verschiedenen Individuen (8).
[3] Mittel aus 12 Analysen verschiedener Knochen von verschiedenen Individuen (8).
[4] Analysiert von cand. W. Wischert.

zusammengestellt. Es ist daraus ersichtlich, daß durch das ganze Wirbeltierreich hindurch die Zusammensetzung der a. S. nur innerhalb verhältnismäßig enger Grenzen schwankt. Das ist besonders der Fall bei den Warmblütern. Bei den Fischen ist der Phosphatgehalt verhältnismäßig etwas höher und der Calciumgehalt niedriger als bei den Warmblütern. Ferner ist der Carbonatgehalt erheblich niedriger, und zwar beträgt er im Mittel nur 3,25% gegenüber 4,92% bei den Warmblütern. Das entspricht gegenüber dem Carbonatgehalt der Warmblüter nur rund 66%. Das Verhältnis $Ca : PO_4$ ist infolgedessen auch etwas geändert und beträgt im Durchschnitt 1 : 0,60, während es bei den Warmblütern im Durchschnitt nur 1 : 0,552 beträgt. Wie diese Unterschiede zwischen Warmblütern und Fischen erklärt werden können, folgt aus später beschriebenen Modellversuchen (s. S. 150). Auffällig ist der verhältnismäßig hohe Carbonatgehalt bei den Reptilien und Amphibien. Es ist möglich, daß besonders die Reptilien den Warmblütern näherzustellen sind als den Fischen. Da ihre Entwicklung sich in den Sommermonaten abspielt, die Eier von der Sonne ausgebrütet werden, die Tiere häufig stundenlang in der prallen Sonne liegen, so erreicht ihre Körpertemperatur leicht Werte, die an die der Warmblüter heranreichen, ja sie oft vielleicht übersteigen. Da der Carbonatgehalt, wie aus später beschriebenen Modellversuchen (s. S. 150) hervorgeht, wahrscheinlich von der Körpertemperatur abhängig ist, so ist es also möglich, daß aus diesem Grunde der Carbonatgehalt der a. S. der Reptilien mit dem der a. S. der Warmblüter übereinstimmt.

Das aus den Knochenanalysen errechnete Verhältnis $Ca : PO_4 : CO_3$ ist für alle Tiere nahezu konstant und nähert sich mehr oder weniger dem Wert 1 : 0,6 : 0,1 bzw. 10 : 6 : 1. Daraus schloß A. WERNER (3), daß in der a. S. eine komplexe Verbindung vorhanden sei, der er die Zusammensetzung eines Calcium-phosphato-carbonats von der Formel $[(Ca_3(PO_4)_2)_3Ca]CO_3$ erteilt hat und auf die das obige Verhältnis zutrifft. Früher war, zurückgehend auf J. BERZELIUS, angenommen worden, daß die Knochensalze in der Hauptsache aus einem Gemisch von tertiärem Calciumphosphat $Ca_3(PO_4)_2$ und Calciumcarbonat $CaCO_3$ bestehen.

Um zu entscheiden, welche der beiden Ansichten die richtige ist, oder ob beide nicht zutreffen und durch eine andere ersetzt werden müssen, sind Lösungsversuche der a. S. durchgeführt worden (4). Wenn die von A. WERNER angenommene komplexe Verbindung sich tatsächlich in den Knochensalzen vorfindet, so müßte sie auch als einheitliche Verbindung in Lösung gehen; mit anderen Worten: in Lösungen der a. S. müßte wieder das Verhältnis $Ca : PO_4 : CO_3 = 1 : 0{,}6 : 0{,}1$ auftreten. Es zeigte sich aber, daß das keineswegs der Fall ist, sondern daß eine viel kleinere Menge PO_4''' und eine weit größere Menge CO_3'' in Lösung geht, als dem WERNERschen Calcium-phosphato-carbonat entspricht. Diese Verbindung kann demnach *nicht* in der a. S. enthalten sein. Es ist vielmehr zu folgern, daß das in der a. S. vorhandene Carbonat nicht nur als Calciumcarbonat vorliegen kann, sondern daß es zum Teil an die sich stets findenden Alkalien Natrium und Kalium in Form von Alkalibicarbonat gebunden sein muß, das wegen seiner guten Löslichkeit aus der a. S. zuerst herausgelöst wird.

Werden die Analysen der a. S. unter Berücksichtigung dieser Folgerung rechnerisch ausgewertet (4), so findet man einen Überschuß der basischen Äquivalente über die sauren, wie dies auch schon S. GABRIEL (1) festgestellt hat. Dieser Basenüberschuß ergibt sich rechnerisch von einer derartigen Größe, daß als Hauptbestandteil der a. S. ein basisches Calciumphosphat von der Zusammensetzung $(Ca_3(PO_4)_2)_3 \cdot Ca(OH)_2$ bzw. $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ angenommen wird.

Einige Jahre, nachdem diese Annahme gemacht worden war, wurden hauptsächlich durch G. TRÖMEL und H. MÖLLER (5) die Unklarheiten und Widersprüche behoben, die im Gebiete der Calciumphosphate und Apatite bis dahin vorhanden waren. Die genannten Verff. konnten zeigen, daß bei der Fällung von Calciumsalzlösungen mit Alkaliphosphatlösungen an Stelle des früher immer angenommenen tertiären Calciumphosphats ein basisches Calciumphosphat von der Summenformel $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ entsteht, das wegen seiner formelmäßigen Ähnlichkeit mit den bekannten Apatiten und insbesondere wegen der Übereinstimmung im Röntgendiagramm und damit im Kristallgitteraufbau „*Hydroxylapatit*" genannt worden ist. Weiter wurde festgestellt, was auch von anderer Seite (6) bestätigt wurde, daß das tertiäre Calciumphosphat in wässerigem Medium unbeständig ist, und daß es ebenso wie die sauren Calciumphosphate durch Hydrolyse immer in den Hydroxylapatit übergeht.

Berücksichtigt man die eben erwähnten neuen Erkenntnisse bei den Calciumphosphaten und ferner die Tatsache, daß sich die Knochenbildung im Körper im wässerigen Medium vollzieht, so ergibt sich mit großer Wahrscheinlichkeit, daß hier Hydroxylapatit vorliegen wird. Die zur endgültigen Klärung der Angelegenheit vorgenommene röntgenographische Untersuchung, die teils gemeinsam mit G. TRÖMEL (7), teils von R. KLEMENT allein durchgeführt wurde, ergab das Vorhandensein des Hydroxylapatits in der a. S. Es wurden nach dem Pulververfahren von DEBYE und SCHERRER mit Kupfer-K-Strahlung Röntgendiagramme der anorganischen Substanz von Menschen- und Rinderknochen hergestellt. Die erhaltenen Diagramme (Fig. 1c u. d) zeigen übereinstimmend die Struktur des Hydroxylapatits, wie sich aus dem Vergleich mit dem Röntgendiagramm des künstlich hergestellten Hydroxylapatits (Fig. 1b) ergibt. Dagegen sind sie ganz verschieden von dem Diagramm des tertiären Calciumphosphats (Fig. 1a), das also in der a. S. *nicht* vorhanden sein kann. Um jeden Zweifel auszuschließen, daß durch die Behandlung des frischen Knochens nach dem Verfahren von S. GABRIEL eine chemische Ver-

änderung der a. S. eintreten könne, wurde ein Röntgendiagramm eines frischen Knochens aufgenommen. Aus dem Brustbein des Tauchers (Colymbus stellatus), das durch Aceton entfettet und weitgehend entwässert wurde, wurde ein stecknadelstarkes Streifchen herausgeschnitten, das an Stelle des sonst verwendeten Substanzröhrchens in die Röntgenkamera eingesetzt wurde. Das erhaltene Röntgendiagramm, das infolge der reichlich vorhandenen organischen Substanz etwas diffus ist, ist einwandfrei das Diagramm des Hydroxylapatits (Fig. 1e) (8)[1]. Auch die Röntgendiagramme

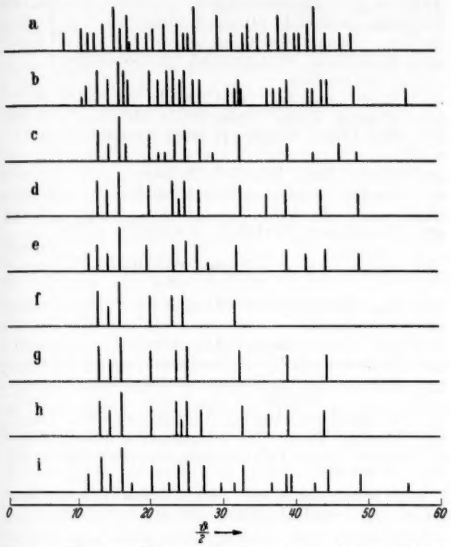

Fig. 1. Röntgendiagramme der anorganischen Skeletsubstanz. a) Teriäres Calciumphosphat (zum Vergleich). b) Hydroxylapatit, rein (zum Vergleich). c) Rind. d) Mensch. e) Taucher (Colymbus stellatus). f) Goldbarsch. g) Menschenhaizahn. h) Lingula. i) Künstliche anorganische Skeletsubstanz.

der a. S. von Fischen, z. B. vom Goldbarsch (Fig. 1f) und vom Menschenhai-Zahn (Fig. 1g) stimmen mit dem Diagramm des Hydroxylapatits überein.

In Estland findet sich als Phosphatmineral unter dem Namen „Obolen-Sandstein" eine Anhäufung von Schalen sog. „hornschaliger Brachiopoden". Derartige hornschalige Brachiopoden leben als Lingula-Arten noch heute im Meere. Bereits frühere Analysen (10) dieser Lingula hatten die Anwesenheit größerer Phosphatmengen in der Schale erkennen lassen. Es war daher zu vermuten, daß auch bei diesen niederen wirbellosen Tieren der Hydroxylapatit auftritt. Wie das Röntgendiagramm der anorganischen Substanz der mit Glycerin-Kalilauge ausgekochten Schale von Lingula zeigt (Fig. 1h), ist dies in der Tat der Fall.

Es ergibt sich also für das gesamte Tierreich die Folgerung, daß überall da, wo es im Skelet zu einer Ablagerung phosphathaltiger Substanz kommt, einzig und allein der Hydroxylapatit $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ***den Hauptbestandteil der a. S. bildet.***

2. *Die Rolle des Fluors in der anorganischen Skeletsubstanz.*

Nachdem nunmehr über den Hauptbestandteil der a. S. Klarheit geschaffen war, konnte als weitere Aufgabe die Aufklärung der Rolle der Nebenbestandteile in Angriff genommen werden. Neben nur in sehr geringen Spuren in der a. S. vorkommenden Elementen finden sich als ständige Begleiter des Hydroxylapatits Carbonat, Magnesium, Natrium, Kalium und Fluor. Das Vorkommen von Fluor in Knochen und Zähnen ist bereits von J. BERZELIUS festgestellt worden, aber seine quantitativen Angaben und die späterer Forscher weisen starke Schwankungen auf, so daß eine Nachprüfung wünschenswert erschien. Mit Hilfe neuerer Mikroverfahren (11) wurden quantitative Analysen über den Fluorgehalt der anorganischen Substanz von Knochen und Zähnen verschiedenster Tiere ausgeführt (12).

Das Ergebnis der Untersuchung ist folgendes (s. Zahlentafel 2):

1. Die a. S. auf dem Lande lebender Säugetiere und des Menschen (Nr. 1—14) weist übereinstimmend einen sehr geringen Fluorgehalt auf, der im Durchschnitt bei rund 0,05% liegt. Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, daß die Zähne den gleichen Fluorgehalt zeigen wie die Knochen und daß insbesondere ein Unterschied zwischen Zahnbein und Zahnschmelz nicht besteht. Auf Folgerungen aus dieser Beobachtung wird weiter unten eingegangen.

2. Im Meere lebende Säugetiere (Nr. 15—20) zeigen einen wesentlich höheren Fluorgehalt der a. S., der im Mittel 0,55% beträgt.

3. Der gleiche Unterschied zwischen Land und Meer kehrt wieder bei den Vögeln. Auf dem Lande lebende Vögel (Nr. 21—29) haben einen durchschnittlichen Fluorgehalt der a. S. von 0,11%, während bei am Meere lebenden Vögeln (Nr. 30 bis 43) dieser Wert 0,32% beträgt.

4. Auch Süßwasser- und Meeresfische zeigen den entsprechenden Unterschied im Fluorgehalt der a. S. Der Gehalt an Fluor beträgt bei jenen (Nr. 44—48) im Durchschnitt 0,03% und bei diesen (Nr. 49—57) 0,44%. Fische aus der Ostsee als Binnenmeer (Nr. 56 und 57) haben dagegen einen niedrigeren Fluorgehalt, der den Süßwasserfischen fast entspricht.

Die beobachtete Tatsache des verschiedenen Fluorgehalts der Knochen von Land- und Meerestieren kann folgendermaßen erklärt werden. Aus den röntgenographischen Untersuchungen von G. TRÖMEL (5) und denen von M. MEHMEL (13) über die Apatitstruktur geht hervor, daß Hydr-

[1] Ein Röntgendiagramm eines frischen Menschenknochens findet sich bei R. KLEMENT (9).

Zahlentafel 2. Fluorgehalt der anorganischen Skeletsubstanz.

Nr.	Gegenstand	% F	Nr.	Gegenstand	% F
1	Mensch, Schädel	0,059	30	Kormoran, Gesamtskelet (3) (Phalacrocorax aristotelis)	0,52
2	„ Röhrenknochen	0,070	31	Silbermöve, Gesamtskelet (3) (Larus argentatus)	0,21
3	„ Zahn	0,030	32	„ Gesamtskelet (3)	0,11
4	Rind, Schädel	0,055	33	Papagei-Taucher, Gesamtskelet (3) (Fratercula arctica)	0,21
5	„ Röhrenknochen	0,047	34	Taucher, Gesamtsk. (3) (Colymbus stellat.)	0,18
6	„ Zahnbein	0,070	35	Lumme, Gesamtsk. (3) (Uria grylle)	0,24
7	Zahnschmelz	0,049	36	„ Gesamtsk. (3) (Uria aalge)	0,11
8	Reh, Röhrenknochen (1) (Capreolus capreolus)	0,065	37	„ Brustbein (4)	0,18
9	Affe, Schwanzwirbel (Macacus cynomolgus)	0,038	38	Alk, Gesamtsk. (3) (Alca torda)	0,63
10	Wiesel, Beine (1) (Mustela nivalis)	0,031	39	„ Gesamtskelet (3)	0,61
11	Hermelin, Beine (1) (Mustela erminea)	0,039	40	Eider-Ente, Gesamtskelet (3) (Somateria mollissima)	0,31
12	Fuchs, Beine (1) (Vulpes vulpes)	0,035	41	Ente, Gesamtsk. (3) (Clangula hyemalis)	0,48
13	Iltis, Beine (1) (Putorius putorius)	0,043	42	Pinguin, Flügel (Spheniscide, Art?)	0,53
14	Eichhörnchen, Beine (1) (Sciurus vulgaris)	0,019	43	Baß-Tölpel, Flügel (4) (Sula bassara)	0,13
15	Dugong, Finger (Halicore dugong)	0,57	44	Hecht, Kopf (2) (Esox lucius)	0,027
16	Finnwal, Schläfenbein (Balaenoptera physalus)	0,70	45	Zander, Kopf (Lucioperca sandra)	0,022
17	Delphin, Unterkiefer (Delphinus delphis)	0,83	46	„ Wirbel	0,043
18	Zähne	0,71	47	Blaufelchen, Wirbel (5) (Coregonus wartmanni)	0,022
19	Seehund, Finger (Phoca vitulina)	0,25	48	Barsch, Wirbel (2) (Perca fluviatilis)	0,045
20	Walroß, Schädel (Odobenus rosmarus)	0,24	49	Hai, Knorpelplatte (Lamna)	0,59
21	Steinkauz, Beine (1) (Athene noctua)	0,096	50	„ Zähne	0,74
22	Eichelhäher, Beine (1) (Garrulus glandarius)	0,12	51	Hai, Zähne (Heptanchus cinereus)	1,08
23	Habicht, Beine (1) (Astur palumbarius)	0,14	52	Menschenhai, Zähne (Carcharias fasciatus)	0,69
24	„ Beine (1)	0,22	53	Kabliau, Wirbel (Gadus morrhua)	0,11
25	Wildente, Flügel (2) (Anas boschas)	0,17	54	„ Wirbel	0,16
26	Hausente, Beine (1)	0,057	55	See-Skorpion, Wirbel (Cottus scorpius)	0,43
27	Knäckente, Beine (1) (Anas querquedula)	0,068	56	Flunder, Wirbel (6) (Pleuronectes flesus)	0,070
28	Wald-Ohreule, Beine (1) (Asio otus)	0,039	57	Scholle, Wirbel (6) (Pleuronectes platessa)	0,043
29	Schleier-Eule, Beine (1) (Strix flammea)	0,039			

Erläuterungen zur Zahlentafel 2: (1) = Umgebung von Frankfurt a. M. (2) = Mark Brandenburg. (3) = Bergen (Norwegen). (4) = Helgoland. (5) = Bodensee. (6) = Ostsee (Kieler Bucht).

oxylapatit und Fluorapatit den gleichen Kristallbau haben. Nach den Arbeiten von V. M. GOLDSCHMIDT (14) haben das Hydroxyl- und das Fluor-Ion gleichen Ionenradius, sie können sich also in Verbindungen gleicher Bauart isomorph vertreten. In der a. S. kann also das Fluor einen Teil des Hydroxyls im Hydroxylapatit ersetzen. Dabei darf aber nicht angenommen werden, daß einzelne Kristalle Fluorapatit neben den Kristallen des Hydroxylapatits liegen, sondern es handelt sich vielmehr um Mischkristalle, d. h. in ein und demselben Kristall ist ein Teil der Hydroxyl-Ionen durch Fluor-Ionen ersetzt. Errechnet man diesen Anteil des Fluors z. B. für die anorganische Substanz des Zahns des Haies Heptanchus cinereus (Nr. 51), so ergibt sich, daß in den Apatitkristallen dieser anorganischen Zahnsubstanz ein Drittel der Plätze der Hydroxyl-Ionen durch Fluor-Ionen besetzt ist.

Der höhere Fluorgehalt der anorganischen Substanz der Knochen und Zähne der Meerestiere erklärt sich dadurch, daß infolge des höheren Gehaltes des Meerwassers an Fluor gegenüber dem Süßwasser (15) mit der Nahrung der Meerestiere mehr Fluor aufgenommen wird als mit der Nahrung der Landtiere. Das Fluor ersetzt daher in höherem Maße das Hydroxyl im Hydroxylapatit unter Mischkristallbildung bei den Meerestieren als bei den Landtieren.

Aus den Untersuchungen ergibt sich, daß das Fluor wohl ein ständiger Begleiter der a. S. ist, aber seine Anwesenheit ist wahrscheinlich eine mehr zufällige Erscheinung, die von den Lebensbedingungen abhängt. Dem Fluor wird daher wohl auch keine biologische Bedeutung im Sinne lebensnotwendigen Vorhandenseins zukommen. Im Gegenteil, wenn die schädliche Wirkung des Fluors, z. B. Hervorrufung von „gesprenkelten Zähnen" (mottled teeth) (16), schwerer Knochensklerose und Bänderverkalkung sowie übermäßiger Ablagerung von Mineralsalzen im Knochensystem (17) in Betracht gezogen wird, so läßt sich vielleicht die Annahme machen, daß die a. S. sogar dazu dient, die Giftwirkung des Fluors aufzuheben, indem dieses Element in eine sehr wenig lösliche Verbindung, den Apatit, übergeführt und somit

unschädlich gemacht wird. Durch den normalen Knochenabbau wird dann jeweils nur eine geringe, nicht mehr giftig wirkende Menge Fluor abgegeben, die zum Teil aus dem Körper ausgeschieden wird. K. ROHOLM (17) hat Anhaltspunkte gefunden für die Annahme, daß das sklerotische Knochengewebe abgebaut und durch normales Gewebe ersetzt wird, wenn die (übermäßige) Fluoraufnahme aufhört.

Da, wie bereits bemerkt, das Fluor sich in den Knochen und Zähnen desselben Tieres bzw. des Menschen in gleicher Menge vorfindet, so kann es auch keine besondere Bedeutung in besonderen Teilen, wie z. B. im Zahnschmelz, haben, dessen Härte durch das Vorhandensein einer verhältnismäßig großen Menge Fluor in Form von Fluorapatit $Ca_{10}(PO_4)_6F_2$ erklärt wurde.

Schon rein analytisch unterscheidet sich die anorganische Substanz von Zahnschmelz und Zahnbein, wie aus den in Zahlentafel 1 für den Rinderzahn angeführten Zahlen hervorgeht, und zwar ist der Carbonatgehalt beim Schmelze wesentlich niedriger als beim Zahnbein. Umgekehrt ist der Gehalt der anorganischen Substanz des Schmelzes an Calcium und Phosphat beträchtlich höher als beim Zahnbein, aber das Verhältnis $Ca:PO_4$ ist das gleiche wie bei den Knochen. Mit den Unterschieden in den Gehalten an Ca und PO_4 geht Hand in Hand ein niedrigerer Wassergehalt des frischen Schmelzes (4—5%) und niedriger Gehalt an organischer Substanz (2—3%), während das Zahnbein in frischem Zustand ebenso wie der gewöhnliche Knochen etwa 10% Wasser und etwa 20% organische Substanz enthält. Bedenkt man ferner, daß die Kristallite des Zahnschmelzes mit durchschnittlich 10^{-4} cm Durchmesser um 1 bis 2 Zehnerpotenzen größer sind als die des Zahnbeins und des Knochens (18), so läßt sich die Härte des Zahnschmelzes folgendermaßen erklären. Im Knochen und Zahnbein, die viel organische Substanz enthalten, ist die Bildung größerer Kristallite von Hydroxylapatit nicht möglich. Bei der Bildung des Schmelzes, die sich höchstwahrscheinlich unter ganz anderen Bedingungen als die des Knochens vollzieht, können sich jedoch wegen des fast völligen Fehlens von organischer Substanz leicht größere Kristallite ausbilden, die einen festeren Zusammenhalt besitzen als die kleineren Teilchen des Knochens. Zahnschmelz ist mit natürlichen Mineralien vergleichbar; daher, und nicht wegen eines besonders hohen Fluorgehaltes ist er härter als das Zahnbein oder die Knochen. — Das Vorhandensein von Hydroxylapatit im Zahnschmelz ist von H. MÖLLER und G. TRÖMEL (18) röntgenographisch an frischem, nur gepulvertem Menschenzahnschmelz nachgewiesen und in neuerer Zeit auch von anderer Seite festgestellt worden (19).

Es mag überraschen, daß ein in verhältnismäßig so geringer Menge auf der Erdoberfläche vorkommendes Element wie Fluor (0,027 Gew.-%) sich in den Knochen der Tiere in einer Menge vorfindet, die der des viel häufigeren Kaliums (2,40 Gew.-%) etwa entspricht bzw. sie, wie bei den Meerestieren, weit übersteigt (Menge des Kaliums in der a. S. durchschnittlich 0,1%). Das erklärt sich aber leicht aus der außerordentlichen Beständigkeit der Apatitstruktur (5; 13). Da Hydroxylapatit im Knochen vorhanden ist, so ist es dem Fluor leicht gemacht, in dessen Kristallgitter an Stelle von Hydroxyl einzutreten, und so werden selbst die kleinen Mengen Fluor, die sich in der Nahrung finden, bzw. große, toxisch wirkende Mengen (16; 17) weitgehend durch den Hydroxylapatit der Knochen gebunden.

3. *Der Carbonatgehalt der anorganischen Skeletsubstanz.*

Einen wesentlichen Nebenbestandteil der a. S. bildet das Carbonat in einer Menge von 2—6% CO_3'' (s. Zahlentafel 1). Aus den eingangs mitgeteilten Befunden ist zu schließen, daß es zum größten Teil als Calciumcarbonat vorliegt, während ein kleiner Teil höchstwahrscheinlich an die in der a. S. nie fehlenden Alkalien Natrium und Kalium unter Bildung der Alkalibicarbonate gebunden ist. Unter dieser Annahme errechnet sich aus den Knochenanalysen für die Warmblüter ein Gehalt von 6—7% $CaCO_3$.

Es erhebt sich nun die Frage, ob diese errechnete Calciumcarbonatmenge einem chemischen Gleichgewicht zwischen dem Hydroxylapatit der a. S. und dem Carbonat des Serums entspricht, oder ob andere Gründe vorhanden sind, die die annähernde Konstanz der Carbonatmenge in der a. S. bedingen.

Bei der Behandlung von reinem Hydroxylapatit mit Natriumbicarbonatlösung, deren HCO_3'-Konzentration der des Serums etwa entspricht bzw. das 10fache beträgt, wird bei 37° nur etwa 0,3 bzw. 1,3% $CaCO_3$ gebildet, während jeweils die äquivalente Menge Phosphat in Lösung geht (8). Da bei dem hier vorliegenden *chemischen* Gleichgewicht nur eine viel kleinere Carbonatmenge gebildet wird, als in der a. S. vorhanden ist, so ergibt sich aus diesen Versuchen, daß also die in der a. S. vorhandene größere Carbonatmenge nicht *allein* diesem Gleichgewicht entsprechen kann. Diese größere Carbonatmenge ist darauf zurückzuführen, daß bei der Entstehung des Hydroxylapatits bei Gegenwart von Carbonat, das sich ja im Serum vorfindet, Calciumcarbonat durch „induzierte Fällung" *mitgerissen* wird. Daß dem so ist, ergibt sich aus folgenden Versuchen:

Beim gleichzeitigen Eintropfen einer Calciumacetatlösung und einer natriumbicarbonathaltigen Lösung von tertiärem Natriumphosphat in eine 37° warme *Tyrode*lösung[1], wobei darauf geachtet wird, daß das p_H sich möglichst nicht ändert, entsteht eine Fällung von Hydroxylapatit, der eine Carbonatmenge enthält, wie sie in der a. S. gefunden

[1] Zusammensetzung der Tyrodelösung: 0,8% NaCl, 0,1% $NaHCO_3$, 0,02% KCl, 0,02% $CaCl_2 \cdot 6\,H_2O$, 0,01% $MgCl_2 \cdot 6\,H_2O$, 0,005% $Na_2HPO_4 \cdot 12\,H_2O$; $p_H = 7{,}7$).

wird (8). Wenn aber zu *Tyrode*lösung Calciumacatetlösung und phosphat*freie* Natriumbicarbonatlösung zugefügt werden, so entsteht *kein* Niederschlag von Calciumcarbonat oder -bicarbonat. Da aber die bei der obigen Versuchsanordnung erhaltenen Niederschläge Calciumcarbonat neben etwas Alkalibicarbonat enthalten, so muß angenommen werden, daß durch die Fällung des Hydroxylapatits die Fällung des Calciumcarbonats *induziert* wird und daß dieses also von dem Hydroxylapatit mitgerissen wird. Der Carbonatgehalt der a. S. ist also zum größten Teil auf diese induzierte Fällung des Calciumcarbonats zurückzuführen. Zu einem geringeren Teil rührt er von dem chemischen Gleichgewicht zwischen dem Hydroxylapatit und dem Carbonat des Serums her sowie von einer kleinen Menge adsorbiertem Alkalibicarbonat.

4. *Modellversuche zur Bildung der anorganischen Skeletsubstanz.*

Wird die Bildung des Hydroxylapatits unter Bedingungen durchgeführt, wie sie etwa bei der Knochenbildung im Körper herrschen, so gelingt die *künstliche* Darstellung der a. S. Als Ausgangsstoff für diese Modellversuche dient sekundäres Calciumphosphat, das nach M. J. SHEAR und B. KRAMER (20) bei der Knochenbildung im Körper wahrscheinlich zuerst entsteht. Es sind 2 Versuchsreihen in mehreren Ansätzen durchgeführt worden, und zwar eine bei 37° als Beispiel für die Bildung der a. S. bei Warmblütern (8) und eine bei 17—18° für Fische[1].

Es werden jeweils 5mal 0,5 g $CaHPO_4 \cdot 2\,H_2O$ mit 250 ccm Tyrodelösung im Thermostaten geschüttelt. Nach 6 Stunden wird die Tyrodelösung abgezogen und durch je 250 ccm neue Lösung ersetzt, die wiederum nach 18 Stunden erneuert wird. Dann werden die Lösungen nach je 1 Tag ausgewechselt, und nach insgesamt 3tägiger Behandlungsdauer werden die 5 Ansätze zu einem vereinigt und weiter mit jedesmal 250 ccm Tyrodelösung behandelt, die nun nach je 2 Tagen erneuert wird. In gewissen Zeitabständen werden dem Bodenkörper kleine Proben zur Analyse entnommen.

[1] Ausgeführt von cand. W. WISCHERT. — Die Temperatur von 17—18° wurde gewählt, weil nach O. KRÜMMEL (21) die Temperatur des Oberflächenwassers der Ozeane im Durchschnitt 17,6° beträgt.

In dem Warmblüterversuch steigt der Carbonatgehalt des Bodenkörpers allmählich an und erreicht nach 2 Wochen den in Zahlentafel 3 angegebenen Endwert von rund 5%, der etwa dem Carbonatgehalt der a. S. der Warmblüter entspricht. In dem bei 17—18° ausgeführten Fischversuch nimmt der Carbonatgehalt des Bodenkörpers ebenfalls allmählich zu, aber es dauert 6 Wochen, bis er den Endwert von 3,25% erreicht, der seinerseits wieder dem mittleren Carbonatgehalt der a. S. der Fische entspricht.

Die Anwendung kleiner Mengen sekundären Calciumphosphats für die Modellversuche ist notwendig, damit die Hydrolyse dieses Stoffes zu Hydroxylapatit sich unter einigermaßen gleichmäßigen Bedingungen vollziehen kann. Da bei der Hydrolyse, die sich nach der summarischen Gleichung: $10\,CaHPO_4 + 2\,H_2O = Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 4\,H_3PO_4$ abspielt, Phosphorsäure frei wird, so würde sich bei größeren Ansätzen die Säurestufe (p_H) der Tyrodelösung stark ändern. Damit wäre erstens der Hydrolyseverlauf gestört und zweitens wären dadurch die Verhältnisse gegenüber den natürlichen Bedingungen im Körper stark verändert, da in diesem Falle durch die gute Pufferwirkung des Serums die Säurestufe praktisch gleich bleibt. Wenn größere Mengen sekundäres Calciumphosphat auf einmal zur Anwendung kommen, so gelingt es nicht, so große Carbonatmengen im Umsetzungsprodukt anzureichern, wie sie unter den hier gegebenen Verhältnissen auftreten.

Da nun die Hydrolyse bei den verschiedenen Temperaturen verschieden schnell verläuft, und zwar bei 37° schneller als bei 17°, so ist nach den im vorigen Abschnitt angeführten Versuchen zu erwarten, daß die durch die Hydroxylapatitbildung induzierte Mitfällung des Calciumcarbonats bei 37° zu höheren Carbonatmengen führt als bei 17°. Wie aus Zahlentafel 3 hervorgeht, ist diese Erwartung durch die Versuche bestätigt worden. Die bei den Modellversuchen zur Bildung der a. S. erhaltenen Stoffe entsprechen in ihrer Zusammensetzung recht weitgehend der natürlichen a. S., sowohl für die Warmblüter als auch für die Fische. Wenn auch die Absolutwerte für Ca und PO_4 als die Hauptbestandteile der a. S.

Zahlentafel 3. Analysen der künstlichen anorganischen Skeletsubstanz.

	Ca	PO_4	CO_3	Mg	Na	K	Ca : PO_4 : CO_3
37°, Warmblüter	33,28	45,13	5,20	—	—	—	1 : 0,570 : 0,104
	32,33	43,93	4,92	0,50	0,36	0,07	1 : 0,573 : 0,102
Mittel	32,80	44,53	5,06	0,50	0,36	0,07	1 : 0,571 : 0,103
Mittel aus den Warmblüter-Analysen (Zahlentafel 1) zum Vergleich	35,39	46,68	4,92	0,56	0,48	0,14	1 : 0,552 : 0,093
17°, Fische	30,57	41,31	3,25	—	—	—	1 : 0,570 : 0,070
Mittel aus den Fischanalysen (Zahlentafel 1) zum Vergleich	33,12	47,18	3,25	—	—	—	1 : 0,600 : 0,066

etwas niedriger sind, als dem Durchschnitt der Knochenanalysen entspricht, so sind vor allem die Werte für CO_3 in beiden Fällen dieselben, wie sie bei den Analysen der Warmblüter bzw. der Fische als Mittelwerte gefunden werden. Außerdem ist für die Bewertung von Knochenanalysen vor allem das *Verhältnis* $Ca : PO_4 : CO_3$ von Wichtigkeit, und auch dieses Verhältnis ist für die beiden Versuchsreihen in sehr befriedigendem Maße, besonders im Hinblick auf den Carbonatwert, in Übereinstimmung mit dem im Mittel für die natürliche a. S. der Warmblüter bzw. der Fische gefundenen Verhältnis. Es ist daher wohl nicht übertrieben, von einer *Synthese* der a. S. zu sprechen.

Die röntgenographische Prüfung der erhaltenen Stoffe ergab das Vorliegen des Hydroxylapatits als Hauptbestandteil der künstlichen a. S. (siehe Fig. 11).

5. *Die natürliche Bildung der anorganischen Skeletsubstanz.*

Nachdem es im Modellversuch gelungen ist, die a. S. nachzubilden, läßt sich die Frage der natürlichen Ablagerung der Knochensalze mit einiger Sicherheit beantworten. Es ist aus histologisch-anatomischen Untersuchungen bekannt, daß im werdenden Organismus die späteren Knochen zunächst als Knorpel von weicher Beschaffenheit auftreten, die durch allmähliche Kalkeinlagerung in den festen Knochen übergehen. Hierbei wird zuerst Calcium im Knorpel angereichert, wie dies aus einer Arbeit von R. SCHWARZ, R. EDEN und E. HERMANN (22) hervorgeht, durch die bewiesen worden ist, daß dem Callusgewebe, das sich nach einem Knochenbruch zwischen den Bruchstücken bildet und das etwa dem Knorpel entspricht, eine erhöhte Fähigkeit zur Bindung von Calcium zukommt. Eine solche bevorzugte Bindung für Calcium ist von anderen Forschern (23) für das Knorpelgewebe oft angenommen worden. Ob es sich hierbei um eine wirkliche chemische Bindung des Calciums an das Eiweiß oder um eine Adsorption handelt, ist nicht sicher entschieden (24).

Bei adsorptiver Bindung kann das Calcium vom Gewebe besonders leicht wieder abgegeben werden. Das tritt vor allem dann ein, wenn Gelegenheit zur Bildung von schwer löslichen Verbindungen, wie z. B. sekundäres Calciumphosphat, gegeben ist. Es ist bereits erwähnt worden, daß dieses sekundäre Calciumphosphat höchstwahrscheinlich als erstes Abscheidungsprodukt bei der Knochenbildung auftritt (20). Ferner haben R. MOND und H. NETTER (25) festgestellt, daß das Serum hinsichtlich des sekundären Calciumphosphats sich sehr nahe am Sättigungspunkt befindet. Es genügt also schon eine geringe Erhöhung der Konzentration einer Ionenart, um Übersättigung und Ausfällung herbeizuführen. Eine solche Überschreitung des Löslichkeitsproduktes des sekundären Calciumphosphats wird besonders dann erfolgen, wenn die Konzentration der HPO_4''-Ionen erhöht wird. Diese Erhöhung tritt ein, wenn durch die von R. ROBINSON (26) festgestellte Knochenphosphatase die organischen Phosphorsäureester des Serums nach der Gleichung

$$R \cdot O \cdot PO_3 \cdot H_2 + H_2O = ROH + HPO_4'' + 2\,H^{\cdot}$$

gespalten werden. Die in größerer Menge gebildeten HPO_4''-Ionen reagieren sofort mit dem im Gewebe vorhandenen Calcium und bilden sekundäres Calciumphosphat, das infolge Übersättigung ausfällt und also als erstes Abscheidungsprodukt bei der Knochenbildung auftreten muß. Durch Hydrolyse infolge der Puffereigenschaften des Serums geht das sekundäre Calciumphosphat in Hydroxylapatit über.

Bei der Bildung des sekundären Calciumphosphats wird das Calcium aus dem Knochengewebe, an dem es adsorbiert gewesen ist, abgespalten, so daß sich die Kristallite zwischen die Micellen dieses Gewebes einlagern. Der aus dem sekundären Calciumphosphat gebildete Hydroxylapatit befindet sich also ebenfalls zwischen den Micellen, ohne daß eine chemische Bindung an die Eiweißstoffe des Knochengewebes eintritt. Eine Bestätigung der Ansicht, daß zwischen der a. S. und der organischen Substanz des Knochens *keine* chemische Bindung besteht und daß die Kristallite des Hydroxylapatits *neben* den Micellen des Knochengewebes liegen, ist von W. J. SCHMIDT (27) aus optischen Untersuchungen von Knochenschliffen im polarisierten Licht erbracht worden. Danach sind die Kristallite des Hydroxylapatits, die eine gestreckte Form aufweisen, parallel neben den ebenfalls gestreckten kollagenen Fasern angeordnet. Es handelt sich also nicht um eine regellose Häufung oder gar um eine kolloidartige Verteilung des Hydroxylapatits in den Zellen, sondern um eine wohlgeordnete Lagerung.

Bei der Bildung des Hydroxylapatits durch Hydrolyse aus dem zuerst abgelagerten sekundären Calciumphosphat wird durch induzierte Fällung Calciumcarbonat mitgerissen, und gleichzeitig wird eine kleine Menge Alkalibicarbonat adsorbiert. Die im Serum vorkommenden Elemente Magnesium (28) und Fluor werden isomorph in das Kristallgitter des Hydroxylapatits an Stelle von Calcium bzw. von Hydroxyl eingebaut. Damit läßt sich der Vorgang der Bildung der a. S. vergleichsweise der natürlichen Mineralbildung an die Seite stellen, bei der nicht ein ganz reines Mineral entsteht, sondern bei der das Hauptmineral stets Lösungsgenossen in bestimmtem Mengenverhältnis in isomorpher Mischung enthält (14).

Bei der Beschaffung von Untersuchungsmaterial bin ich von vielen Freunden, Kollegen und Instituten weitgehend unterstützt worden. Ihnen allen sei auch an dieser Stelle bestens gedankt.

Literatur.

1. S. GABRIEL, Hoppe-Seylers Z. 18, 281 (1894). — 2. E. TIEDE u. H. CHOMSE, Ber. dtsch. chem. Ges. 67, 1988 (1934). — 3. A. WERNER, Ber. dtsch. chem.

Ges. **40**, 4441 (1907). — 4. R. KLEMENT, Hoppe-Seylers Z. **184**, 132 (1929). — 5. G. TRÖMEL, Z. physik. Chem. (A) **158**, 422 (1932) — G. TRÖMEL u. H. MÖLLER, Z. anorg. u. allg. Chem. **206**, 237 (1932). — 6. A. SCHLEEDE, W. SCHMIDT u. H. KINDT, Z. Elektrochem. **38**, 638 (1932). — 7. R. KLEMENT u. G. TRÖMEL, Hoppe-Seylers Z. **213**, 263 (1932). — 8. R. KLEMENT, Ber. dtsch. chem. Ges. **69**, 2232 (1936). — 9. R. KLEMENT, Klin. Wschr. **1937**, 591. — 10. F. W. CLARKE u. W. C. WHEELER, USA. Geol. Survey, Profess. Paper **124** (1922). — 11. H. H. WILLARD u. O. B. WINTER, Ind. Eng. Chem., Anal. Ed. 5, 7 (1933) — W. D. ARMSTRONG, Ind. Eng. Chem., Anal. Ed. 5, 315 (1933). — 12. R. KLEMENT, Naturwiss. **21**, 662 (1933) — Ber. dtsch. chem. Ges. **68**, 2012 (1935). — 13. M. MEHMEL, Z. physik. Chem. (B) **15**, 223 (1932). — 14. V. M. GOLDSCHMIDT, Naturwiss. **14**, 477 (1926). — 15 GMELINS Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Aufl., Bd. Fluor, S. 9. — 16. M. C. SMITH u. R. M. LEVERTON, Ind. Eng. Chem. **26**, 761 (1934). — 17. K. ROHOLM, Arch. Gewerbepath. **7**, 255 (1936) — Fluorine Intoxication. Kopenhagen u. London 1937. — 18. H. MÖLLER u. G. TRÖMEL, Naturwiss. **21**, 346 (1933). — 19. W. F. BALE u. H. C. HODGE, Naturwiss. **24**, 141 u. 636 (1936). — 20. M. J. SHEAR u. B. KRAMER, J. of biol. Chem. **79**, 125 (1928). — 21. O. KRÜMMEL, Handbuch der Ozeanographie. Stuttgart 1907. — 22. R. SCHWARZ, R. EDEN u. E. HERMANN, Biochem. Z. **149**, 100 (1924). — 23. PFAUNDLER, Jb. Kinderheilk. **60**, 123 (1904); E. FREUDENBERG u. P. GYÖRGY, Biochem. Z. **110**, 290 (1920); **115**, 96 (1921); **118**, 50 (1921). — 24. E. HEYMANN, Kolloid-Z. **50**, 97 (1930). — 25. R. MOND u. H. NETTER, Arch. f. Physiol. **212**, 558 (1926). — 26. R. ROBINSON, Biochemic. J. **17**, 286 (1923). — 27. W. J. SCHMIDT, Ber. Oberhess. Ges. Natur- u. Heilk., Giessen **15**, 219 (1933). — 28. R. KLEMENT, Z. anorg. u. allg. Chem. **228**, 232 (1936).

Zur Synthese des Alpenbaues.

Die letzten 20 Jahre haben uns eine Reihe von Synthesen des alpinen Bauplanes beschert (ARGAND, ALB. HEIM, R. STAUB, L. KOBER, W. v. SEIDLITZ — um nur die wichtigsten zu nennen). Die meisten gingen direkt oder indirekt, von den Erfahrungen der Westalpen aus, wo die Deckentheorie inzwischen zur alleinigen Herrschaft gelangt war. Daß die Extrapolation auf die Ostalpen hierbei vielfach unbefriedigt ließ, daß insbesondere die schematische Verlängerung der Westalpinen Bauzüge nach Osten unberechtigt war, ist von deutschen und österreichischen Geologen vielfach betont worden; kam man doch bei konsequenter Anwendung der Theorie des einheitlichen S—N-Schubes und der Annahme, daß die höchsten Decken am weitesten aus dem Süden stammen, zu dem paradoxen Schluß, daß die größte Massenhäufung dort liegen muß, wo überhaupt kein Gebirge mehr vorliegt, d. h. in der ungarischen Tiefebene! Wenn der Widerspruch der Ostalpengeologen sich bislang nicht entscheidend durchgesetzt hatte, so lag das neben den besonderen Bauverhältnissen an gewissen — ich möchte sagen — technischen Umständen. Die ostalpinen Einwände waren teils rein negativ, teils erfaßten sie Teilprobleme und waren daher nicht imstande, der westalpinen Deckentheorie eine gleich straffe, gleich einheitlich-faszinierende Zusammenschau gegenüberzustellen. Das war ihre äußere Schwäche, aber ihre innere Stärke. Wie der Referent schon 1921 auseinandersetzte (Grundlagen der Deckentheorie. Stuttgart: E. Schweizerbart), stecken in der Deckentheorie Keime des starren Schematismus und Keime der Wandlungsfähigkeit; es mußten sich aber wohl zunächst die ersteren frei austoben, es mußte das einfache Schema erst bis zur letzten Konsequenz durchprobiert werden, ehe ein Umbruch einsetzen konnte.

Daß E. KRAUS[1] diesen Umbruch versucht, daß er, nun von den Erfahrungen der Ostalpen ausgehend, eine Zusammenschau des gesamten Bauplanes anstrebt, wird man ihm als Verdienst anrechnen, auch wenn manche Wege, die er verfolgt, sich als Sackgasse erweisen sollten, und auch wenn er, trotz ehrlichen Strebens, gelegentlich ebenfalls in unberechtigte Verallgemeinerungen verfällt. Die letztere Gefahr liegt stets nahe, wenn jemand, von seinem speziellen Arbeitsgebiet (in diesem Falle Allgäu) ausgehend, dieses zum Ausgangspunkt der Zusammenschau macht. Vieles ist auch hier unbewiesen oder auch bestritten, und Aufgabe der Spezialforschung wird es sein, die Einzeltatsachen zu überprüfen bzw. zurechtzurücken; erst dann wird man endgültig sehen, was an der KRAUSschen Konzeption bestandfähig ist. Auf diese Einzelkritik kann hier nicht eingegangen werden; nur der Gang der Untersuchung und die Gesamtauffassung seien kurz besprochen.

KRAUS analysiert nacheinander 8 Querschnitte durch den Alpenkörper, die in schöner bunter Ausführung beigelegt und durch eine Übersichtskarte erläutert sind. Er geht, wie gesagt, von dem ihm vertrauten Schnitt Allgäu—Gardasee aus, untersucht dann zuerst die westlichen Profile (Toggenburg—Jseo, Vierwaldstätter—Luganer See, Genfer See—Jvrea, Grenoble—Turin) und später die östlichen Schnitte (Oberbayern—Dolomiten, Altersee—Cividale, Wiener Wald—Krain). Für alle diese Schnitte liegen schon ausführliche Vorarbeiten vor, so daß es sich vielfach nur um eine Umdeutung handelt.

Die Kritik an der extremen Deckentheorie, dem „Ultranappismus", ist berechtigt, vor allem die „geometrische" Kritik: KRAUS hat zweifellos recht, wenn er immer wieder betont, daß die Deckentheorie uns die Antwort auf die Frage schuldig bleibt, wo denn die Unterlage der so stark zusammengestauchten und so weit verfrachteten oberflächlichen Deckenpakete geblieben ist. Dieser „Raumüberschuß in der Tiefe" kann unmöglich durch Faltung oder Kompression ausgeglichen werden, und die wahrscheinlichste Denkmöglichkeit ist zweifellos die von AMPFERER schon 1906 bis 1911 ausgesprochene Unterströmungs- oder Verschluckungstheorie: die tieferen „Wurzeln der Berge" sind durch subkrustale Strömungen in die Tiefe „abgesaugt" oder verschluckt, d. h. in den magmatischen Schmelzfluß einverleibt[1]; dadurch entsteht an der Oberfläche die „Raumnot", welche die Krustenoberteile zur intensiven Faltung und Deckenbildung zwingt. Kurz: nicht die Drift der Kontinente wäre danach das Primäre, sondern die Strömung unter der Kruste, welche diese Drift trägt und ihr die horizontalen und auch die vertikalen Impulse erteilt. Daher ist die Suche nach „Wurzeln" der alpinen Decken gegenstandslos, denn diese Decken liegen über „Narben", d. h. über Stellen

[1] ERNST KRAUS, Der Abbau der Gebirge. Bd. I: Der alpine Bauplan. Berlin: Gebr. Borntraeger 1937. XII, 352 S., 57 Abbild. und 5 farbige Tafeln. 16 cm × 25 cm. Preis br. RM 30.—, geb. RM 32.20.

[1] Vgl. den Aufsatz des Ref. Naturwiss. **25**, H. 36 u. 37 (1937).

von großem Massenverlust in die Tiefe, der eben durch Aufschuppung nach *beiden* Seiten kompensiert wird. Die Überschiebungen der Decke sind eigentlich Unterschiebungen oder „Unterströmungen" des Sockels. Insbesondere sind die nördlichen Kalkalpen, wie schon AMPFERER annahm, nicht über die Zentralalpen von Süden herübergewandert, sondern an Ort und Stelle über einer „Verschluckungszone" zusammengestaucht. Insofern freut sich der Referent, dem Verfasser zustimmen zu können, insbesondere da er schon 1921 die Fruchtbarkeit dieser von AMPFERER begründeten, von HERITSCH 1915 weiter ausgebauten Hypothese ausdrücklich betont hat. Auch eine weitere Feststellung von KRAUS, die allerdings ebenfalls schon mehrfach von ostalpinen Geologen betont wurde, verdient es, immer wieder herausgehoben zu werden: die Unmöglichkeit, Baueinheiten durch die ganzen Alpen von West nach Ost durchzuverfolgen. Die Decken müssen irgendwo aufhören, d. h. an Förderweite abnehmen und in bodenständiges Gebirge übergehen; sie besitzen Aufhängepunkte (HERITSCH 1915).

Soweit die Prämissen, welche wie gesagt auf älteren Arbeiten beruhen und durchaus als fruchtbar und vortreibend anzuerkennen sind; erst bei der Spezialanwendung beginnen die Schwierigkeiten. Wenn KRAUS die Unterströmungstheorie zu der Auffassung der Alpen als „Doppelorogen" ausbaut, indem er zwei Verschluckungszonen oder „Narben" durch die ganzen Alpen von Ost nach West verfolgen zu können glaubt, und wenn er behauptet, aus dieser Theorie „ohne weitere Hilfsmaßnahmen" den ganzen Alpenbau enträtseln zu können, so scheint mir das übertrieben optimistisch. Die Verschluckungszonen werden ebensowenig durchgehen wie die aus ihnen ausgepreßten Decken, und ich glaube, das ergibt sich schon aus den KRAUSschen Profilen. Zunächst einige Tatsachen:

Am besten „paßt" die Sache noch in den westlichen Ostalpen, von denen KRAUS ausgeht: daß die nördlichen Kalkalpendecken nicht aus dem Süden stammen, sondern mehr oder weniger ortsständig sind, d. h. über einer Verschluckungszone ausgeschuppt wurden, hat wie gesagt schon AMPFERER angenommen — hier liegt also vielleicht eine „Narbe". Auch eine zweite, südliche, unter der starren, nur wenig bewegten Platte der Südtiroler Dolomiten ist jedenfalls erwägenswert. Desgleichen scheint mir die Verfolgung dieser Narben nach Osten zum mindesten diskutabel zu sein; jedenfalls tut die KRAUSsche Auffassung dem enormen, inzwischen angehäuften Tatsachenmaterial weniger Zwang an, als die Synthesen STAUBS und KOBERS: die SANDERschen Tauernarbeiten kommen zur Geltung, das eigenartige Verschwinden des Drauzuges und der Karnischen Alpen nach Westen finden eine bessere Erklärung (Absaugen in die Südalpennarbe). Allerdings wird manchen Annahmen, besonders in den Nordalpen, heute noch lebhaft widersprochen, und die Bezeichnung „Doppelorogen" stimmt insofern nicht, als sich die südalpine Narbe im O gabelt (südalpiner und dinarischer Zweig), so daß also keine Doppelung, sondern eine Verdreifachung vorliegt, die übrigens noch zu beweisen wäre. Es fällt auch auf, daß der Narbenbau fast niemals symmetrisch ist: insbesondere das Überwiegen *einer* Verschiebungsrichtung oder Vergenz (im N nach N, im S nach S im Oberbau) gibt zu denken; die Gegenflügel sind oft mehr konstruiert als bewiesen.

Viel bedenklicher sind meines Erachtens die Westprofile, schon angefangen mit der ostalpinen Grenze. Die Vorstellung, daß die Silvrettamasse von Norden nach Süden, die Oetzmasse von Süden nach Norden über dem Unterengadiner „Scherenfenster" zusammengeklappt sind, befriedigt wenig und hat zur Voraussetzung, daß man die Schuppen an der Basis der nördlichen Silvretta und des Rhätikon als etwas grundsätzlich anderes (ultrahelvet) gegenüber den unterostalpinen Schuppen weiter im Süden ansieht, was wenig wahrscheinlich ist. Auch der Tarasper Gneiszug im Süden und die kristalline Nunagruppe im Südosten des Engadiner Fensters, die beide wohl sicher mit der Silvretta zusammenhängen, sind dann recht schwer zu begreifen. Viel richtiger scheint mir dann doch die vielfach vertretene Auffassung, daß die ostalpine Einheit in Rhätikon-Bünden nach SW und SSW abschwenkt, daß also der Westrand dieser Einheit gegen NW und W auf die Westalpen aufgeschoben ist. Diesen Ostalpenbogen bestreitet KRAUS und nimmt zur Erklärung der zweifellosen O—W-Bewegungen eine transversale Stauchung an, die jedenfalls nicht zwanglos aus der Verschluckungstheorie und der Doppelorogennatur der Alpen abzuleiten ist, sondern ein neues mechanisches Prinzip darstellt, dessen Deutung erst im zweiten Teil des Werkes verraten werden soll. Es ist unmöglich, hier die ganze Problematik der ostalpinen Grenze in Graubünden und das Für und Wider des ostalpinen Bogens aufzurollen; so viel scheint mir nur sicher, daß für eine Fortsetzung der nordalpinen Narbe oder Verschluckungszone in die Westalpen keine beweisende Tatsache spricht. Die vier westalpinen Profile von KRAUS scheinen mir daher auch schwächer geglückt; sie tragen mehrfach den Stempel einer Umdeutung des Befundes, einer nach SEMPER immer bedenklichen Maßnahme. Daß die in der Flanke der Südnarbe beheimateten penninischen Decken über den Zwischenrücken hinüberwanderten, ist denkbar; daß sie aber zum Teil auch die Nordnarbe flach überdeckten, zum Teil in sie herabgezogen, zum Teil in ihr aufgerichtet wurden, stellt an unser mechanisches Denkvermögen etwas zu hohe Ansprüche und ist jedenfalls nicht einleuchtender als die Deckentheorie. Die nordalpine Narbe in die Westalpen zu verfolgen, scheint mir ein ebenso aussichtsloses Beginnen, wie die „Wurzelsuche" in den Südalpen, über die KRAUS mit Recht ironisiert; beides sind Schematisierungen, der Theorie zuliebe. Dies muß gesagt werden, gerade weil auch hier einige kritische und besinnliche Einzelbemerkungen von KRAUS sehr wohl Berücksichtigung verdienen.

Wenig befriedigend ist meines Erachtens auch die KRAUSsche Erklärung des Westalpenbogens, den der Verf. ebenfalls auf eine Längsstauchung der Alpen zurückführen will (also auf ein zweites erklärendes Prinzip!). Richtig ist die Tatsache, daß die Schubweite nach SW und S abnimmt; sehr nett der Hinweis darauf, daß die nördlichen Zentralmassive (Mont Blanc, Aiguilles Rouges, Belledonne) viel stärker verwalzt sind als die rundlichen südlichen Kerne (Pelvoux, Mercantour). Aber daraus folgt meines Erachtens noch keine Längsstauchung, für die in den östlicheren Teilen der Westalpen kein Beweis vorliegt, sondern lediglich die Schwenkung des Bogens, deren Mechanismus ARGAND 1916 einleuchtender gedeutet hat, mit vielen Einzelzügen, welche KRAUS zu wenig berücksichtigt; sie passen auch schlecht zum „Doppelorogen". Hier ist jedenfalls das letzte Wort noch nicht gesprochen, wenn es auch nichts schaden kann, wenn die Deckentheorie auch in ihrer Heimat durch Aufzeigen der schwachen Punkte aus ihrer selbstgefälligen Erstarrung etwas „mobilisiert" wird.

Verschluckung und Unterströmung ist natürlich nur denkbar in einem erweichten, mobilisierten Unterbau, welcher, wie Ref. vor kurzem hier (a. a. O.) auseinandersetzte, eng mit der Einverleibung in die Migmatitfront zusammenhängt. Auf den Mechanismus

der Gebirgsbildung bin ich dort bewußt nicht ausführlicher eingegangen. Hier sei aber erwähnt, daß einige Strukturen des skandinavischen Grundgebirges, insbesondere die flachen Gneiskuppeln mit steilen Rändern sich sehr wohl im Sinne „zyklonaler" Strömungen deuten lassen. Allerdings ist das Bild komplizierter als im hypothetischen „Doppelorogen" von KRAUS mit seinen unendlich weit hinziehenden Narben; auch diese dürften, wie die Decken, Anfang und Ende haben. Betrachtet man die älteren Gebirgskörper, so erkennt man überhaupt mehrfachen, nicht nur zweimaligen Vergenzwechsel, d. h. Wechsel in der Richtung der Bewegung; man kommt dort aber kaum auf den Gedanken, jeweils dafür ein neues Orogen zu postulieren (z. B. FRÖDINS Deutung der norwegischen Kaledoniden). Die scheinbare Komplikation wird aber überwunden durch den über diese Einzeldinge hinausweisenden zonaren Aufbau, den ich, an KOBER anschließend, im genannten Aufsatz ausführlicher geschildert habe. Dieser zonare Aufbau scheint mir ein übergeordnetes Prinzip zu sein, welches in der Doppelorogentheorie von KRAUS nicht genügend zur Geltung gelangt. Mit ihm sind dann Fragen der Asymmetrie oder Symmetrie der Gebirgsstränge verknüpft, welche ebenfalls noch keine endgültige Erledigung gefunden haben. Hier ist dann eine eingehende petrographisch-kinematische Behandlung unumgänglich, die bei KRAUS auch noch fehlt. Solche Sätze z. B., wie: „Der Hauptteil (der *pazifischen* Urschmelze) trennt sich in der Tiefe allmählich in spez. leichteres Sal und schwereres Sima, beide der atlantischen Sippe angehörend" (S. 302), erschweren nur die Verständigung, denn — wie bringt das Magma das fertig, sich aus einem Alkalikalk-Magma (pazifisch) in zwei alkalireiche (atlantische) Gesteine zu spalten? Pazifisch und salisch sind auch keine Gegensätze (S. 308)!

Diese Bedenken dürfen nicht verschwiegen werden, eben weil der ehrliche Versuch von KRAUS, aus der Erstarrung des Ultranappismus zu fruchtbarer Zusammenschau vorzudringen, positiv zu werten ist und dem Verf. dafür Dank gebührt. Wie ich schon 1921 sagte (a. a. O. S. 148), ist eine einfache Grundformel weder von der Deckentheorie noch von einer anderen Theorie der Gebirgsbildung zu erwarten; jede liefert nur Teilerklärungen, deren Übertragungen auf das Ganze immer bedenklich sind; die letzte Zusammenschau liegt noch in ferner Zukunft; aber an der Kritik hat jede Theorie ihre Anpassungsfähigkeit und ihre Grenzen zu erweisen.

Zum Schluß noch eine terminologische Bemerkung: KRAUS nennt sein Werk „der Abbau der Gebirge", was vielfach Befremden hervorgerufen hat. Er versteht darunter die Strukturbildung, welche durch die Verschluckung, also Aufzehrung von Erdkrustenteilen durch den Tiefenstrom hervorgebracht wird. Mir scheint diese Bezeichnung auch nicht ganz logisch: abgebaut kann doch schließlich nur etwas werden, was schon existiert; das Gebirge aber existiert zur Zeit der Verschluckung des Sockels noch nicht; diese leitet überhaupt erst die Strukturumbildung ein, während das eigentliche morphologische Aufsteigen des Gebirges vielfach erst eine spätere, mittelbare Folge des Volumzuwachses in dem Faltengebirgsknäuel ist, d. h. eine isostatische Hebung zusammengestauchter, spezifisch leichter Massen darstellt, welche auf dichterem Medium schwimmen. Die Narben verhalten sich zudem überhaupt recht verschieden: in den Alpen mögen bedeutende Massen „verschluckt" sein, im kaledonischen Gebirge z. B. wurden dagegen gewaltige Schmelzmassen nach oben herausgepreßt. Da in diesem Fall die Bezeichnung Abbau sinnlos wäre, müßte man denselben Prozeß der „Tektogenese" einmal als Abbau, das andere Mal als Aufbau bezeichnen! Ich glaube daher, daß man von Abbau nur beim fertigen Gebirge sprechen kann, sei es, daß man dabei an die Oberfläche-Zerstörung oder auch an die Einschmelzung der Wurzeln denkt.

S. VON BUBNOFF, Greifswald.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über die Treffertheorie und ihre Anwendung in der Theorie der Genmutation.

Aus der Untersuchung der Häufigkeit biologischer Strahlenreaktionen in Abhängigkeit von der Wellenlänge folgt nach den bisherigen Ergebnissen, daß eine allgemeingültige Trefferdefinition nicht möglich ist. Als Treffer ist hiernach entweder der Durchgang eines Photo- oder Comptonelektrons durch den strahlenempfindlichen Bereich (Physiologische Schädigung, GLOCKER[1]) oder die Bildung eines Ions in diesem Bereich (Mutation, TIMOFÉEFF und Mitarbeiter) anzusehen. Zu einer einheitlichen, für alle Reaktionen gültigen Trefferdefinition gelangt man folgendermaßen: Im strahlenempfindlichen Bereich sei eine gewisse Anzahl von Zentren enthalten, deren Anregung zur biologischen Wirkung beitragen kann. Die Wahrscheinlichkeit, daß eine im Bereich hervorgerufene Ionisation die Anregung von mindestens 1 Zentrum zur Folge hat, sei α. Sowohl bei der physiologischen Schädigung als auch bei der Mutation müssen dann in gleicher Weise diejenigen von den GLOCKERschen Elektronendurchgängen als Treffer gezählt werden, die mindestens 1 Zentrum anregen. Die quantitative Ausführung dieser Überlegung ergibt, daß bei großen Wellenlängen sowohl Schädigung als auch Mutation der GLOCKERschen Theorie gehorchen muß und bei kleinen die Halbwertsdosis für beide Reaktionen unabhängig von der Wellenlänge ist. Die Wellenlänge, bei der beide Gebiete aneinandergrenzen, ist verschieden für $\alpha > 1$ und für $\alpha < 1$. Für $\alpha > 1$ erfolgt der Übergang vom wellenlängenunabhängigen zum GLOCKERschen Gebiet, wenn der Abstand der Ionisationen ungefähr gleich dem Durchmesser des Bereiches ist. Für $\alpha < 1$ liegt er bei entsprechend größeren Wellenlängen.

Die Anwendung dieser Überlegungen auf die Versuche von TIMOFÉEFF, ZIMMER und HEYN[1] über die Erzeugung von Mutationen durch Neutronen ergibt verschiedene Resultate für das Gen-Modell von TIMOFÉEFF und für das Gen-Modell von DEHLINGER[2]. Nach TIMOFÉEFF und Mitarbeitern ist das Gen ein Molekül und dementsprechend enthält der strahlenempfindliche Bereich nur 1 Zentrum und es ist $\alpha = 1$. In Übereinstimmung mit den Überlegungen von TIMOFÉEFF und Mitarbeitern muß dann der (nach unserer Rechnung durch GLOCKERS Theorie zu beschreibende) Anstieg der Halbwertsdosis einsetzen, wenn in dem Bereich durch einen einzigen Treffer mehr als 1 Ion erzeugt wird. Nach DEHLINGER ist das Gen ein Kristall, es sind viele Zentren dort vorhanden und es ist $\alpha \neq 1$. Falls $\alpha < 1$ wird dann der Anstieg der Halbwertsdosis erst bei größeren Ionisationsdichten erfolgen, als TIMOFÉEFF und Mitarbeiter vermuten. Ein entsprechendes experimentelles Resultat wäre also als Bestätigung der Auffassung DEHLINGERS anzusehen und nach der Vorstellung von TIMOFÉEFF und Mitarbeitern nicht zu verstehen. Eine ausführliche Mitteilung wird an anderer Stelle erfolgen.

Freiburg i. Br., Radiologisches Institut der Universität, den 18. Februar 1938. K. SOMMERMEYER.

[1] R. GLOCKER, Z. Physik. 77, 653 (1932).

[1] W. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, K. G. ZIMMER u. F. A. HEYN, Naturwiss. 26, 108 (1938).

[2] U. DEHLINGER, Naturwiss. 25, 138 (1937).

Neue Messungen der vertikalen Ozonverteilung in der Atmosphäre.

Das Ozon findet sich im wesentlichen in Höhen von 15 bis 35 km in der Atmosphäre. Die vertikale Ozonverteilung ist für Europa in guter Übereinstimmung aus Beobachtungen des zenithalen Himmelslichtes während der Dämmerung nach F.W.P. Götz[1] und aus Aufnahmen des ultravioletten Sonnenspektrums mit Registrierballonen von E. und V. H. Regener[2] bestimmt worden. Hiervon weichen die Ergebnisse von Brian O'Brien, F. L. Mohler und H. S. Stewart[3], die aus Aufnahmen des Sonnenspektrums bei den zwei amerikanischen bemannten Stratosphärenflügen gewonnen wurden, insofern ab, als sie in der ganzen unteren Atmosphäre zwischen Boden und 15 km Höhe nur ganz verschwindende Ozonmengen ergeben. Dies überrascht um so mehr, als selbst in Bodennähe schon 5—20mal höhere Ozonkonzentrationen nach genauen spektrographischen Methoden gemessen wurden[4].

Um diese Unstimmigkeiten aufzuklären, wurde die früher angewandte Methode zur Messung der Ozonverteilung mit einem leichten Registrierballon-Spektrographen[2] verbessert, so daß auch in der unteren Atmosphäre zuverlässige Werte erhalten werden konnten.

Früher wurde der Spalt an dem senkrecht nach unten gerichteten Kollimator des Spektrographen durch eine diffus reflektierende, horizontale, von der Sonne und von dem zerstreuten Licht des Himmels getroffene MgO-Gipsplatte beleuchtet. Trotz der Drehungen der Apparategondel konnten so ständig in verschiedenen Höhen Aufnahmen gemacht werden. Die Mitwirkung des Himmelslichtes verursachte aber einen schwer zu eliminierenden Fehler, denn seine Weglänge durch die Ozonschicht hängt von der zu messenden vertikalen Ozonverteilung selbst ab und ist daher unbekannt.

Bei den neuen Messungen wurde die weiße Platte beibehalten, sie befand sich aber im Innern einer horizontalen, um die senkrechte Achse leicht drehbaren Halbkugel aus dünnem Aluminiumblech. Eine seitlich in der Halbkugel ausgesparte Öffnung diente zum Einlaß für das direkte Sonnenlicht, ein zweites Loch ließ das reflektierte Licht senkrecht nach oben zum Spektrographen gelangen. Mit Hilfe eines Stabmagneten wurde die seitliche Öffnung durch den Erdmagnetismus stets nach Süden gehalten, so daß der Spektrograph während des ganzen zwei- bis dreistündigen Fluges aufnahmebereit war.

Direkt vor dem Spalt befand sich ein Stufenfilter, so daß bei jeder einzelnen Aufnahme die Steilheit des Intensitätsabfalls im Sonnenspektrum, verursacht durch das Ozon, bequem ausphotometriert werden konnte. Die Schichtdicke des in jeder Höhe über dem Apparat befindlichen Ozons konnte aus jeder Aufnahme bestimmt und aus der Veränderung dieser Schichtdicke mit der Höhe die Verteilung des Ozons ermittelt werden.

Es ergab sich bei zwei Aufstiegen übereinstimmend, daß der Ozongehalt von 14 km an abwärts zunächst normal abnimmt bis zu einem ausgeprägten *Minimum* zwischen 5 und 12 km Höhe, um dann zum Erdboden hin wieder anzusteigen. Dies gilt besonders ausgeprägt für den absoluten Ozondruck, weniger und nicht mit Sicherheit für das Mengenverhältnis Ozon/Luft. Im folgenden ist stets vom absoluten Ozondruck die Rede.

Wird der Versuch zu einer Erklärung des aufgefundenen Ozonminimums in der Troposphäre, dessen Existenz bereits in früheren Messungen angedeutet ist[1, 5], unternommen, so ist in Betracht zu ziehen, daß das Ozon das einzige atmosphärische Gas ist, welches infolge seiner *Entstehungs*ursache *schichtartig* mit dem Maximum in 24 km Höhe eingelagert ist.

Es ist anzunehmen, daß das Ozon versucht, durch Absinken das Exponentialgesetz der barometrischen Höhenformel zu befolgen. Mag auch das Absinken infolge Diffusion nicht schnell genug vor sich gehen[1], so wird die vertikale Durchmischung auf die Ausbildung einer Exponentialverteilung unterstützend wirken[2].

Die chemische Ozonzersetzung an den atmosphärischen Kolloiden der Troposphäre und an den oxydablen Bestandteilen der Erdoberfläche wird den „stationären" Zustand jener Exponentialverteilung nicht zur Ausbildung kommen lassen, sondern vielmehr einen Ozonstrom von oben nach unten bewirken. Bei geringer Durchmischung der Troposphäre wird nur ein schwacher Ozonstrom auftreten, so daß alles Ozon in den unteren Luftschichten und am Erdboden durch Zersetzung bald vernichtet werden kann. Die Exponentialverteilung kann sich nicht ausbilden, die ganze untere Atmosphäre hat einen geringen Ozondruck. Dies scheint bei den amerikanischen Flügen der Fall gewesen zu sein. Wird bei kräftiger Durchmischung so viel Ozon nach unten befördert, daß die herangeführte Menge sich nicht gleich zersetzen kann, so wird sie ihr Bestreben nach der Exponentialverteilung bekunden. Da hier nur der absolute Ozondruck und nicht das Verhältnis Ozon/Luft betrachtet wird, so bedeutet Exponentialverteilung eine Stauung des Ozons in der Nähe des Erdbodens. Dies erklärt wohl das aufgefundene Minimum in 5 bis 12 km Höhe.

Auch die Schwankungen des bodennahen Ozons, die mehr als eine Zehnerpotenz betragen können[3], erklären sich zwanglos aus den Schwankungen der vertikalen Durchmischung.

Überlagert werden alle diese Vorgänge durch die Heranführung schichtweise ozonreicher oder ozonarmer Luftmassen in horizontalen Luftströmungen.

Die aus den beiden Aufstiegen gewonnenen Resultate weichen im einzelnen voneinander ab, ein Zeichen dafür, wie abhängig die untere Ozonverteilung von dem Zustand der Atmosphäre ist. Zwischen 3 und 8 km Höhe zeigt der erste Aufstieg am 30. X. 1937 erhebliche Konzentrationen, während der zweite Aufstieg am 11. XII. 1937 wesentlich kleinere, zum Teil verschwindende Ozongehalte in demselben Höhenintervall ergibt.

Eine ausführliche Mitteilung wird voraussichtlich in der *Z.* Physik erscheinen.

Die Messungen wurden am Physikalischen Institut der Technischen Hochschule Stuttgart ausgeführt.

Friedrichshafen a. B., im Februar 1938.

Victor H. Regener.

Über einen Symplex Vitamin C-Eiweißkörper.

Nach Untersuchungen von H. Kraut und W. v. Pantschenko-Jurewicz[4] über die *Leberesterase* liegt eine leicht vonstatten gehende Dissoziation des Enzyms in eine mikromolekulare Wirkungsgruppe (Agon), welche der Ascorbinsäure nahestehen soll, und einen makromolekularen Faktor (Pheron), in welchem ein Eiweißkörper vermutet wird, vor. Eigene Untersuchungen[5], welche sich mit dem Verhalten von Ascorbinsäure in wässeriger Lösung befassen, haben zu folgenden Ergebnissen geführt: Eine Lösung des Vitamins in sehr reinem Wasser weist trotz Berührung ihrer Oberfläche mit Luftsauerstoff einen weitaus geringeren Abfall ihres Reduktionsvermögens auf als z. B. ein Citronenpreßsaft (ebenfalls unter Luftberührung). Durch Zusatz von Spuren getrockneten Eieralbumins wie auch der Aminosäuren Phenylalanin und Cystin konnte die Reduktions-

[1] F. W. P. Götz, A. R. Meetham, G. M. B. Dobson, Proc. Roy. Soc. Lond. A **145**, 416 (1934).

[2] E. u. V. H. Regener, Physik. Z. **35**, 788 (1934) — Nature (Lond.) **134**, 380 (1934).

[3] Brian O'Brien, F. L. Mohler, H. S. Stewart, Nat. Geogr. Soc., Contr. Techn. Pap., Strat. Ser. Nr. 2. Washington 1936.

[4] F. W. P. Götz, M. Schein, B. Stoll, Gerl. Beitr. z. Geophys. **45**, 237 (1935).

[5] A. R. Meetham, G. M. B. Dobson, Proc. Roy. Soc. Lond. A **148**, 598 (1935). — F. W. P. Götz, Meteor. Z. **54**, 457 (1937).

[1] P. S. Epstein, Gerl. Beitr. z. Geophys. **35**, 153 (1932).

[2] Es klingt zunächst sinnwidrig, daß die vertikale Durchmischung das Zustandekommen einer Exponentialverteilung des Ozons unterstützen soll. Es ist jedoch zu beachten, daß die Durchmischung versucht, überall dasselbe Verhältnis Ozon/Luft herzustellen. Dort, wo hoher Luftdruck herrscht, wird also auch viel Ozon sein. Daher wird sich bei der vollständigen Durchmischung der Troposphäre nicht die Exponentialverteilung des Ozons selbst, sondern diejenige der Luft einzustellen suchen. Diese ist im folgenden immer gemeint.

[3] Siehe Fußnote 4 auf nebenstehender Spalte.

[4] H. Kraut u. W. v. Pantschenko-Jurewicz, Biochem. Z. **275**, 114 (1935); **285**, 407 (1936).

[5] Inaug.-Diss. Frankfurt a. M. 1937.

wirkung $^{n}/_{100}$-wässeriger Lösungen in *gesteigertem* Maße konstant gehalten werden, während die Aminosäuren Glykokoll, α-Alanin, Leucin und Glutaminsäurechlorhydrat antagonistisch wirksam waren.

Die genannten, sich berührenden Untersuchungsergebnisse haben nun zu der Annahme geführt, daß zwischen der *l*-Ascorbinsäure und einem Eiweißkörper oder -spaltprodukt bestimmter Konstitution ein labiler, jedoch gegenüber molekularem Sauerstoff mit erheblicher Resistenz ausgestatteter Symplex in vitamin-C-haltigen Naturstoffen vorliegen bzw. synthetisch reproduziert werden kann.

Über weitere Untersuchungen in dieser Richtung wird später ausführlich berichtet werden.

Karlsruhe, den 23. Februar 1938.

W. Rudolph.

Über den Entladungsvorgang und die Ionenausbeute der Kanalstrahlentladung.

Durch Versuche an Kanalstrahlrohren mit verschiedenen Elektrodenanordnungen ließ sich zeigen, daß die an der Kathode durch Aufprall der positiven Ionen ausgelösten Elektronen für den Mechanismus einer Kanalstrahlentladung nicht wesentlich sind. Die für die Entstehung des Ionenstrahlpinsels notwendige Ionisierung erfolgt durch Elektronen- und Ionenstöße im Gasraum. Da es also nicht nötig ist, daß ein Teil des Ionenstrahls auf die Kathodenoberfläche auftrifft, ist es erlaubt, denselben so zu konzentrieren, daß er vollständig durch den Kanal in der Kathode hindurchtritt. Diese Konzentrierung wird durch die ionenoptische Wirkung einer auf Anodenpotential befindlichen Blende erreicht, welche im Entladungsraum unmittelbar vor der Kathode angebracht ist.

Die Figur zeigt ein solches Kanalstrahlrohr mit Blende, welches sich als Ionenquelle für Atomumwandlungsversuche eignet. Dieses Rohr liefert bei einer Entladungsspannung von 30 kV und einer Entladungsstromstärke von 20 mA einen reinen Ionenstrom von mehr als 1 mA, welcher zur Vermeidung von Fehlern infolgevon Sekundäremission in einem Faraday-Käfig mit Schutzblende gemessen wurde. Zur Erzielung einer so hohen Ionenausbeute benötigten die bisher benützten Kanalstrahlrohre ohne Blende eine etwa 10mal so große elektrische Leistung.

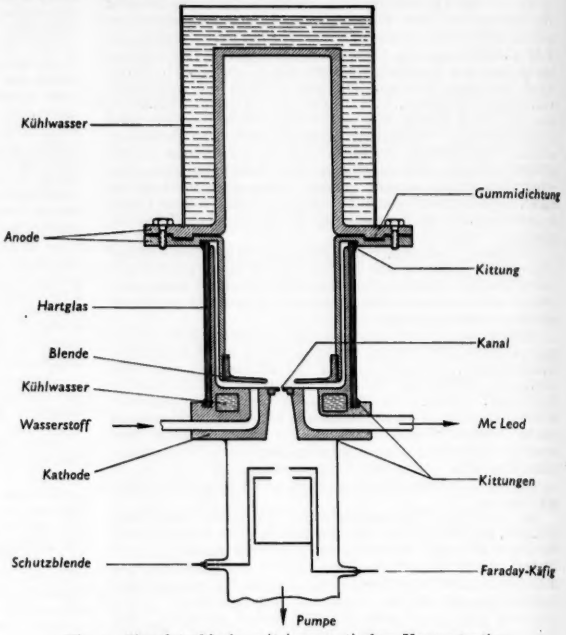

Fig. 1. Kanalstrahlrohr mit ionenoptischer Konzentration.

Eine ausführliche Beschreibung wird in den „Wissenschaftlichen Veröffentlichungen aus den Siemenswerken" erscheinen.

Berlin-Siemensstadt, Forschungslaboratorium II der Siemenswerke, den 26. Februar 1938. C. Hailer.

Besprechungen.

MICHELL, J. H., and M. H. BELZ, **The Elements of Mathematical Analysis.** Vol. I and II. London: Macmillan & Co. Ltd. 1937. XXIV, 516 S. und 202 Abbild., bzw. XII, 571 S. und 149 Abbild. 14 cm × 22 cm. Preis Sh 42/— net jeder Band.

Das vorliegende Werk ist ein modernes Lehrbuch zur Einführung in die mathematische Analysis und behandelt etwa den Stoff der üblichen Anfangsvorlesungen. Die Darstellung fußt durchweg auf der Theorie der reellen Zahlen, alle Beweise und Methoden gehen darauf zurück. Nirgends werden daher geometrische Bemerkungen und Feststellungen zu Beweisen herangezogen, sondern stets nur zur Erläuterung und Veranschaulichung bereits bewiesener Tatsachen benutzt. Die Darstellung besitzt dadurch eine Strenge, die nicht nur für das Studium der reinen Mathematik notwendig ist, sondern auch für den Studenten der Naturwissenschaften immer unerläßlicher wird, wenn er sich mit einigen Zweigen der Mathematik vertraut machen will, die für seine Wissenschaft von Wichtigkeit sind. In dieser Hinsicht dürfte sich das vorliegende Werk von sehr vielen üblichen englischen und amerikanischen einschlägigen Lehrbüchern besonders unterscheiden.

Kennzeichnend für das Werk sind weiter die folgenden beiden wichtigen Punkte:

1. An die Vorbildung und die mathematische Geschicklichkeit des Lesers werden zunächst nur geringe Anforderungen gestellt. Das Buch setzt nur diejenigen Grundtatsachen aus Algebra, Geometrie und Trigonometrie voraus, die auf jeder höheren Schule (second school) gelehrt werden. Darüber hinaus werden die eigentlich hierunter fallenden Anfangsgründe der Differential- und Integralrechnung vollständig neu entwickelt, wie überhaupt eine ganze Reihe recht elementarer Dinge im Rahmen des formalen Aufbaues des Buches noch einmal behandelt werden, um das Studium des Buches auf eine sichere Grundlage zu stellen. Um zu vermeiden, daß der Durchschnittsstudent Sachverhalte, deren exaktes Erfassen ihm zu große Schwierigkeiten macht, einfach als richtig unterstellt, ist die Darstellung verhältnismäßig ausführlich gehalten, ohne jedoch durch zu große Breite an Klarheit und Übersichtlichkeit zu verlieren. Alle wichtigeren Begriffe werden besonders ausführlich besprochen und versteckte Schwierigkeiten als solche herausgestellt. Um die Verwendung früher behandelter allgemeiner Sätze zu vermeiden, wenn es nicht sicher ist, daß ihre Bedeutung gleich völlig erfaßt wurde, werden manche Beweise immer wieder auf erste Grundsätze zurückgeführt. Der Stoff wird an sehr vielen Beispielen ausführlich erläutert.

2. Das Buch ist ein ausgesprochenes Arbeitsbuch, Es enthält über 2000 Aufgaben und Übungsbeispiele. die vom Leser zu behandeln sind; gegebenenfalls wird die Lösung durch Winke und Anleitungen erleichtert. Der Nachdruck ist durchaus auf die Ableitung numerischer Resultate gelegt, die zur Kontrolle stets angegeben sind. Dabei ist der Gebrauch der wichtigeren mathematischen Tabellen nicht zu umgehen, ihre Benutzung wird, ebenso wie die wichtigeren mathematischen Instrumente, eingehend besprochen. Auch eine Rechenmaschine soll gelegentlich benutzt werden.

Als Übersicht über Inhalt und Aufbau des Buches seien noch kurz die einzelnen Kapitelinhalte angegeben: I. Elementare Funktionseigenschaften. (Die hierher gehörende Definition der reellen Zahlen und ihrer arithmetischen Verknüpfungen wird ihrer Schwierigkeit wegen erst im letzten Kapitel behandelt.) II. bis IV. Differentialrechnung. Anwendung auf algebraische Funktionen. V. Krümmung und geometrische Anwendungen. VI, VII. Die elementaren Transzendenten und verwandte Funktionen (reell behandelt, wie überhaupt im ganzen Buch keine komplexe Zahl auftritt). VIII. Polar- und Linienkoordinaten. Verschiedene Kurven und Kurvendarstellungsformen. IX. bis XI. Integralrechnung einschl. numerischer und mechanischer Integration. XII. bis XV. Bogenlänge, Flächen- und Rauminhalte, Oberflächen. XVI. Momente. Auswertung von Gebiets- und Volumintegralen. XVII. Reihenentwicklungen, orthogonale Funktionen. XVIII. TAYLORsche Formel mit Restintegral. XIX. Differentialgleichungen 1. Ordnung. XX. Lineare Differentialgleichungen 2. Ordnung. Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten. Ausblick auf höhere Ordnungen. XXI. Arithmetische Grundlegung der Infinitesimalrechnung.

KARL BOEHLE, Göttingen.

VON DER PAHLEN, E., **Lehrbuch der Stellarstatistik.** Unter Mitwirkung von F. GONDOLATSCH. Leipzig: Joh. A. Barth 1937. XVI, 934 S. und 135 Abbild. 17 cm × 24 cm. Preis brosch. RM 96.—, geb. RM 98.—.

Wenn man das Buch in die Hand bekommt, erschrickt man zunächst wohl etwas über Umfang und Preis: ein *Lehrbuch* von über 900 Seiten großen Formats, das nur von *Stellarstatistik* handeln soll? Überfliegt man dann das Inhaltsverzeichnis, so stellt man fest, daß das Thema anscheinend ziemlich weit gefaßt ist und daß in offenbar großer Breite eine Reihe von Dingen behandelt wird, die man in einem Lehrbuch der Stellarstatistik kaum suchen würde. Dieser Eindruck wird verstärkt, wenn man in dem Buch selbst blättert, sich da und dort festliest und das, was man selbst weiß, mißt an dem, was hier zusammengetragen ist. Zum Schluß bleibt der Gesamteindruck einer verwirrenden Fülle von Beobachtungstatsachen und theoretischen Deutungsversuchen, mehr historisch-berichtend als systematisch-sichtend aneinandergereiht; und das Gefühl anerkennender Bewunderung ob solch umfangreicher Kenntnisse.

Bei der Auseinandersetzung mit Idee und Ausführung des Buches kann und muß man an das Vorwort des Verfassers selbst anknüpfen, der darin seine Auffassung begründet und zu den zu erwartenden Einwänden Stellung nimmt. Als Aufgabe der Stellarstatistik betrachtet er „die Erforschung des inneren Aufbaues eines Sternsystems sowie der Beziehungen der verschiedenen im Weltenraum vorhandenen Sternsysteme zueinander". Dieses „für die moderne Astronomie so überaus wichtige Forschungsgebiet" sei „heute eines der am allerschwersten zugänglichen", und dafür sei „das Fehlen eines brauchbaren Leitfadens verantwortlich, der dem in dieses Labyrinth Eindringenden die Orientierung erleichtern könnte". Damit ist der Maßstab gegeben, mit dem das Buch zu messen ist; es will ein „systematisches Lehrbuch der Stellarstatistik" sein.

Der Verfasser glaubt nun aber eine Unterscheidung machen zu müssen zwischen zwei verschiedenen Typen von Lehrbüchern, je nachdem es sich um die Darstellung eines abgeschlossenen Wissensgebietes, wie z. B. die Thermodynamik oder die Himmelsmechanik, handelt oder um „Gebiete, die sich in einem verhältnismäßig frühen Stadium ihrer Entwicklung befinden, in dem alles — sowohl Theorien als Tatsachen — sozusagen noch im Flusse ist". Bei Lehrbüchern der ersten Art seien „systematische Anordnung des Stoffes und ein den ganzen Aufbau beherrschender logischer Zusammenhang aller Teile, sowie eine alles Nebensächliche vermeidende Kürze der Darstellung die maßgebenden Gesichtspunkte", während für Lehrbücher der zweiten Art das „bescheidenere Ziel" nur darin bestehen könne, „den Leser mit denjenigen Methoden und Ergebnissen bekannt zu machen, deren Kenntnis für das Verständnis der die in Frage kommenden Probleme behandelnden Originalarbeiten und für ein erfolgreiches selbständiges Weiterarbeiten auf dem betreffenden Gebiet erforderlich ist". Das Heranziehen von SOMMERFELDS „Atombau und Spektrallinien" als „klassisches Beispiel eines Lehrbuches dieser zweiten Art" wird vielleicht manchem etwas anspruchsvoll erscheinen.

Aber die Berechtigung der Unterscheidung zwischen abgeschlossenen und nicht abgeschlossenen Gebieten zugegeben, möchte ich doch auch an ein *Lehrbuch* der zweiten Art stets die Forderung stellen, daß es sich einer „alles Nebensächliche vermeidenden Kürze der Darstellung" befleißige. Wenn der Verfasser bei der Verteidigung des Umfanges des Buches, den zu vermindern „den Wert des Lehrbuches nur herabsetzen könnte", zum Schluß schreibt: „Es wird ja gewiß niemanden einfallen, alles in ihm Enthaltene wirklich zu lernen; als Leitfaden und Nachschlagewerk dürfte aber sein Wert durch die ausführliche Behandlung auch der älteren Theorien entschieden bedeutend erhöht worden sein", so gibt er damit selbst die richtige Kennzeichnung des Buches. Es ist kein *Lehrbuch* im eigentlichen Sinn — denn ein solches soll meiner Meinung nach in der Tat nur das enthalten, was man wirklich lernen sollte — sondern ein *Kompendium*, das in erschöpfender Vollständigkeit das Bild eines Wissenschaftsgebietes wiedergibt, auf dem heute schon vieles nur noch historisches Interesse beanspruchen kann und von dessen Methoden recht wenig übriggeblieben ist, das für künftige Arbeiten als Grundlage verwendbar ist.

Im übrigen möchte ich im Gegensatz zum Verfasser meinen, daß ohne ernstliche Minderung des Wertes manches hätte wegbleiben können, vor allem im zweiten Teil, der unter der Überschrift: Das Beobachtungsmaterial und seine statistische Vorbehandlung, viel Unnötiges enthält (42 Seiten allein über die Definition und die Geschichte der Messung von Sternhelligkeiten, wobei gerade das für die Stellarstatistik Wesentliche, nämlich die Gewinnung eines einwandfreien *Systems*, fehlt); und daß eine überlegene systematische Zusammenfassung, die die Gemeinsamkeiten der im III. Teil nach den Originalarbeiten referierten Methoden herausgestellt und in Beziehung gesetzt hätte zu dem im I. Teil breit dargelegten mathematischen Apparat, durchaus möglich gewesen wäre und dem Buch nur zum Vorteil hätte gereichen können.

Stellt man die Verschiedenheit der Auffassung einmal zurück, dann wird man dankbar begrüßen, daß ein

solches Buch existiert, das in vielen Fällen das Aufsuchen der Originalarbeiten erspart, und daß ein Verleger sich gefunden hat, der das sicher große Opfer gebracht hat, das nur für einen verhältnismäßig kleinen Kreis bestimmte Werk zu drucken. Der Verfasser darf sicher sein, daß sein Buch benutzt wird, wenn auch vielleicht weniger als Leitfaden durch ein Labyrinth, dessen Verworrenheit gerade durch das Buch so recht zum Ausdruck gebracht wird, denn als Nachschlagewerk, in dem das Vermächtnis einer Generation von mehr oder weniger erfolgreichen Pionieren seinen Niederschlag gefunden hat. H. KIENLE, Göttingen.

Festschrift zum 60. Geburtstag von Hans Stille. Stuttgart: Ferd. Enke 1936. VIII, 437 S., 1 Porträt, zahlreiche Abbild. und 28 Tafeln. 16 cm × 25 cm. Preis brosch. RM 20.—.

Angesehenen Forschern zu besonderen Gelegenheiten als Festschrift eine Sammlung von Einzelarbeiten zu überreichen, die direkt oder indirekt aus ihrem Arbeitskreis hervorgehen, diese Sitte ist viel kritisiert worden. Der Haushalt der Büchereien und der Einzelforscher wäre dadurch allzu sehr belastet, wichtige Untersuchungen würden an einer nicht allgemein zugänglichen, nicht in der Serie einer Zeitschrift ohne weiteres erreichbaren Stelle herausgebracht. Der erste Einwand ist hinfällig, wenn eine Festschrift wie die vorliegende unter starker Heranziehung von Privatmitteln gedruckt und dadurch zu einem erträglichen Preise abgesetzt wird. Auch die Gefahr der Verzettelung ist gering, wenn die Festschrift einem Forscher von einheitlicher Arbeitsrichtung gewidmet ist und die gesammelten Arbeiten also von selbst zu einer größeren Einheit zusammenfließen, in deren Rahmen sie erwartet und gesucht werden. Das vorliegende Werk ist viel mehr als die Ehrung eines hochangesehenen Forschers, der diese Ehrung in besonderem Maße verdient, es ist eine repräsentative Veranschaulichung dessen, was die deutsche Geologie durch das Werk von HANS STILLE zur Förderung der Gesamtgeologie und zur Kenntnis der Gesamterde beigetragen hat. Eine Festschrift, von Mitarbeitern aus den verschiedensten Generationen zusammengebracht, ist sogar in vieler Hinsicht geeigneter, das Werk des darin geehrten Forschers anschaulich zu machen als manche seiner eigenen Arbeiten: Beschränkungen, an die auch der Größte gebunden ist und die in gewissen festen Formulierungen sichtbaren Niederschlag finden, werden durch die Mitarbeit tüchtiger Schüler durchbrochen, die im Werk des Lehrers liegenden Möglichkeiten so erst ganz ausgewertet und sichtbar gemacht. Ist doch oft sogar die gegen den Meister gerichtete Weiterentwicklung seiner Gedanken seine stärkste ohne ihn nicht denkbare Leistung.

Die Stille-Festschrift umfaßt in der Tat alle Gebiete seines eigenen — noch keineswegs zum Abschluß gelangten — Lebenswerkes: 6 Aufsätze gelten dem deutschen Variscikum, d. h. den Ruinen des mitteldeutschen Faltengebirges der Steinkohlenzeit. 5 Aufsätze beziehen sich auf das saxonische Gebiet Mittel- und Norddeutschlands, in welchem STILLE grundlegende Erkenntnisse gewonnen und von wo aus er die Gesamtgeologie der Erde nachhaltig befruchtet hat. Auf junge Bewegungen und ihre Erscheinungsweise an der Erdoberfläche sind 6 Untersuchungen gerichtet. An die Leistungen der STILLEschen Schule in Spanien, Italien und Griechenland erinnern 4 kleine Beiträge. Je ein wichtiger Aufsatz gilt Kalifornien und dem Himalaja, ein größerer Beitrag der Arktis, weitere Mitarbeiter beschäftigten sich mit Salzfragen, Wasserfragen und den heutigen Sedimenten der Tiefsee. Auch die gelegentliche stratigraphische Tätigkeit STILLES findet in mehreren Beiträgen der schon genannten Gruppen Widerhall.

Aus der Summe und dem Ineinandergreifen dieser Themen wird die große Hauptleistung H. STILLES deutlich, die baulichen Umgestaltungen der Erdkruste mit der Geschichte ihrer Oberfläche in engste Wechselbeziehungen gesetzt, die Tektonik stratigraphisch durchwirkt, die Stratigraphie an der Tektonik orientiert zu haben.

Einige allgemeinere Ergebnisse können hier angedeutet werden: Sehr enge Beziehungen bestehen zwischen der Schichtentwicklung und dem Erdkrustenbau während der Steinkohlenzeit im Sauerlande; die Schichtenbildung steht ganz unter dem Einfluß gleichzeitiger Hebungen und Senkungen im Ablagerungsgebiet, sie zeichnet die Tendenz und die Richtung der künftigen Faltung auf indirektem Wege vor (F. KÜHNE). Aus den gleichen Gründen ist die Schichtentwicklung des Mittel- und Oberdevons im Kellerwald von äußerster Buntheit (F. DAHLGRÜN). Aus dem Untercarbon des Harzes werden Groß- und Kleinzyklen des Schichtabsatzes berichtet (K. FIEGE). Die innersudetische Mulde in Schlesien hat schon in der älteren Erdgeschichte unter dem Einfluß ihrer höheren Umrahmung gestanden, wie heute (W. E. PETRASCHECK). In dem Gebiet zwischen Thüringer Wald und Harz sind schon in der Triaszeit Schwellengebiete an Stellen der heutigen Randgebirge und im Eichsfeld zu erkennen, die das Erfurter Becken von 3 Seiten umschließen und mit Sand beschicken (G. RICHTER). Der Elbtalgraben zwischen Pirna und Meißen hat sich seit der Kreidezeit in mehreren Phasen gesenkt, die sich voneinander unterscheiden lassen (H. GALLWITZ). In einer gehaltvollen Untersuchung über das nördliche Alpenvorland kommen K. GUNDLACH und R. TEICHMÜLLER zu bestimmten Vorstellungen über Art, Ort und Alter der ausklingenden Alpenfaltung. Als Merkmale von Krustenbewegungen noch in der Diluvialzeit werden in Anspruch genommen Versumpfungsgebiete, morphologische Schwellen und Senken, Entwässerungslinien, besonders Stromverlegungen, Lage und Verbreitung jungtertiärer Schotter und endlich Anomalien des irdischen Magnetismus. Auch die Untersuchungen anderer werden sorgfältig ausgewertet und in einem umfangreichen Verzeichnis verfügbar gemacht. Der Formenentwicklung am Ostabhang des Fichtelgebirges gilt eine Untersuchung v. GAERTNERS, der Gliederung des Lößes an der oberen Leine ein Aufsatz von G. SELZER. Sehr beachtenswert ist eine Analyse des Wechselspiels von Sedimentation und Faltung in Kalifornien (H. ASHAUER, J. S. HOLLISTER und R. D. REED). P. MISCH, jetzt in China, berichtet über die höchst interessante Tatsache, daß am Fuße des Nanga Parbat im Industal ein jungtertiäres Talsediment (der Jalipur-Sandstein) noch an der weitergehenden Faltung des Gebirges teilgenommen hat und durch sie steil aufgerichtet worden ist. Das Gestein erhielt dabei ein sonst noch nicht bekanntes „Prägungsgefüge" dank der Tatsache, daß das Sediment bei der Umformung noch kaum verfestigt war und dicht unter der Oberfläche lag. Anschließend wird über andere ganz junge Faltungen im Nordwest-Himalaja berichtet. Die Salzabscheidung auf der Erde erfolgt in enger Abhängigkeit von den tektonischen Umformungen der Kruste und ihrer Oberfläche. Manche Gebiete zeigen dementsprechend eine immer wiederkehrende Neigung zur Salzbildung. Salzfeindlich sind als Hebungsgebiete die alten Schwellen und sind die tiefen, in starker Senkung begriffenen Geosynklinalen,

während die Gebiete schwächerer Senkungsbewegung sich vorzugsweise mit Salz füllen (F. Lotze). Für die Zusammensetzung der Tiefseesedimente ist sowohl das Oberflächenwasser (durch seinen lebenden Inhalt) wie auch das Bodenwasser (durch seine anorganischen Eigenschaften) verantwortlich. Durch sie gewinnt das Klima Einfluß auf die Sedimente der Tiefsee (Schott).

H. Cloos, Bonn.

HEDVALL, J. A., **Reaktionsfähigkeit fester Stoffe.** Leipzig: J. A. Barth 1938. X, 234 S. und 50 Abbild. 15 cm × 23 cm. Preis brosch. RM 18.—, geb. RM 19.20

In den letzten Jahren haben die Reaktionen fester Stoffe stark an Interesse gewonnen. Eine große Reihe von Untersuchungen wurde auf diesem Gebiete ausgeführt, und auch die theoretische Bearbeitung der Platzwechselvorgänge hat bedeutende Fortschritte gemacht. Heute können bereits die ersten Monographien über dieses Fachgebiet einen lohnenden Überblick vermitteln. So hat sich auch der Verf. zur Aufgabe gemacht, das bis jetzt vorhandene Material zu sammeln. Den größten Raum nimmt dabei die Beschreibung der experimentellen Erforschung der mannigfachen Reaktionen zwischen Pulvern anorganischer Verbindungen ein, an der der Verf. selbst in hervorragendem Maße beteiligt war. Es werden dabei eingangs auch allgemein der Aufbau der festen Stoffe und deren Reaktionsmöglichkeiten besprochen. Ebenso werden die elementaren Platzwechselvorgänge, welche die Diffusion und die elektrolytische Leitfähigkeit ermöglichen, kurz beschrieben, während für theoretische Erwägungen wenig Raum verwandt wird. Auch die Reaktionsfähigkeit fester Stoffe den Gasen und Flüssigkeiten gegenüber ist nur kurz behandelt. Trotzdem ist das Gebiet so umfangreich, daß eine umfassende Darstellung wünschenswert und nützlich erscheint. Dem Chemiker wird das Buch eine Welt vernachlässigter Reaktionen auftun und verdient wohl beachtet zu werden.

W. Seith, Münster i. W.

Das Verhalten der Höhenstrahlung bei den magnetischen Störungen vom Januar 1938[1].

Die Intensität der aus der Vertikalen einfallenden Höhenstrahlen wird seit längerer Zeit am Institut für Höhenstrahlenforschung der Universität Berlin mit zwei gleichen Zweifach-Koinzidenz-Apparaturen fortlaufend alle halbe Stunde registriert. Die horizontal in Nord-Süd-Richtung liegenden Zählrohre sind so untereinander gestellt, daß beide Paare ungefähr dieselbe Intensität zugestrahlt erhalten. Die Verstärker beider Anordnungen arbeiten unabhängig voneinander. Die Aggregate befinden sich in einem bis zu $\pm 1°$ temperaturkonstanten Raum, obwohl eine Temperaturabhängigkeit der Anordnungen sich nicht gezeigt hat.

Die Einzelstöße der Zählrohre (5 × 90 cm) betragen je 36000 pro Stunde $\pm 0{,}5$ % statistische Schwankung, die Anzahl der Koinzidenzen aus einer einstrahlenden Fläche von

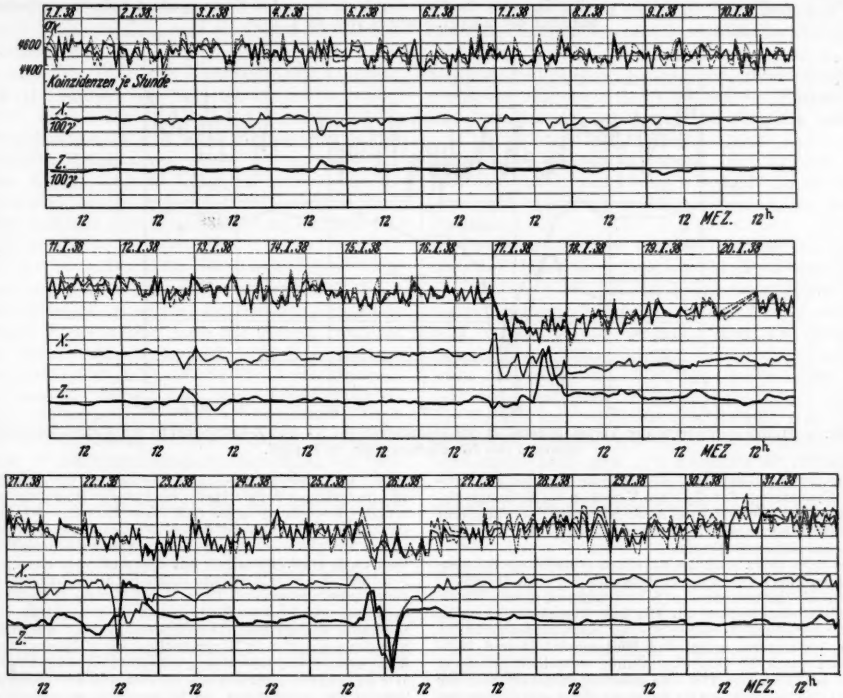

Fig. 1—3. Stündliche Vertikalintensität koinzidierender Höhenstrahlen, X- und Z-Komponente des Erdmagnetismus, Januar 1938.

[1] Aus dem Institut für Höhenstrahlenforschung der Universität Berlin. Eingegangen den 22. Februar 1938.

30° × 157° etwa 4500 pro Stunde ±1,5 %. Das Auflösungsvermögen beider Anordnungen ist besser als 4×10^{-5} sec, so daß die Zufallskoinzidenzen nur 30 je Stunde, also 0,7 % der wahren Koinzidenzen ausmachen.

In Fig. 1—3 sind die Stundenwerte vom 1. bis 31. I. 1938, in Fig. 4 und 5 die Halbstundenwerte vom 15. bis 18. und 25. bis 27. I. 1938 nach Reduktion auf den mittleren Barometerstand von 750 mm mit dem für die Anordnungen aus längeren Registrierreihen bestimmten Barometereffekt von 2,71 % eingezeichnet (Apparatur VI gestrichelt, Apparatur VII punktiert, Mittel aus beiden stark ausgezogen). Ferner ist der magnetisch stark gestörten zweiten Monatshälfte (Fig. 1—3). Die Schwankungen der Höhenstrahlenintensität (I) während der Störungen (Fig. 4 und 5) verlaufen gleichsinnig und gleichzeitig, jedenfalls innerhalb ± 1/2 Stunde mit denen der X-Komponente der Horizontalintensität. Die Intensitätsverminderung der Höhenstrahlung betrug bei der Störung am 16. I. 1938 8 %, bei dem Nordlicht am 25. I. 1938 etwa 6 % des vorher herrschenden Mittelwertes. Die erstere verläuft für I und X in der Art, wie sie als Störung des Ringstroms angesprochen zu werden pflegt. In der Z-Komponente erfolgt der Impetus etwa 8 Stunden später als in der X-Kompo-

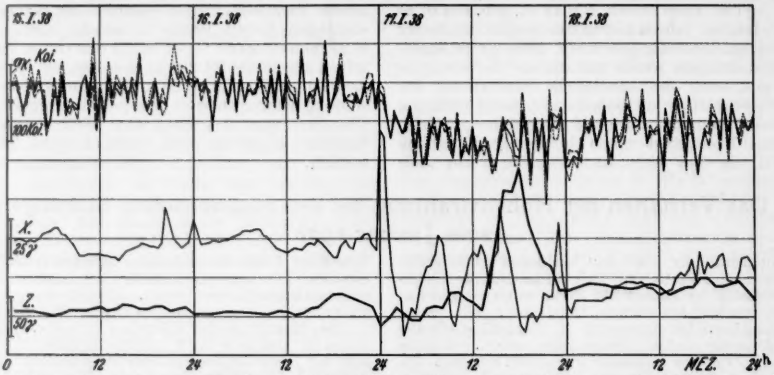

Fig. 4. Halbstundenwerte der Vertikalintensität der Höhenstrahlen, X- und Z-Komponente des Erdmagnetismus während des magnet. Sturmes vom 16. I. 1938.

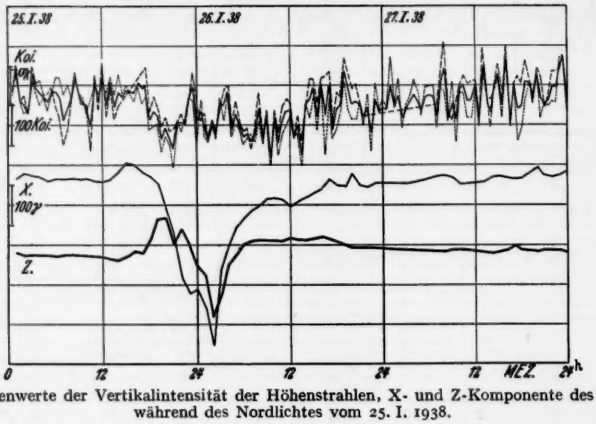

Fig. 5. Halbstundenwerte der Vertikalintensität der Höhenstrahlen, X- und Z-Komponente des Erdmagnetismus während des Nordlichtes vom 25. I. 1938.

Verlauf der X- (Nord-Süd-) Komponente und der Z- (vertikalen) Komponente der täglichen Variation des Erdmagnetismus nach Registrierungen des Adolf-Schmidt-Observatoriums in Niemegk eingetragen, für deren Überlassung an dieser Stelle besonders gedankt sei.

Wie man sieht, sind die mittleren stündlichen Schwankungen im Tagesverlauf der Höhenstrahlung etwa doppelt so groß wie die der statistischen Schwankung σ_k, die am Rande der Figuren eingezeichnet ist. Die hohe Übereinstimmung im Verlaufe der Stunden- ebenso wie der Halbstundenwerte der beiden Apparaturen zeigt, daß Meßgenauigkeit und Meßsicherheit durch die Doppelanordnung wesentlich gesteigert worden ist. Dies gestattet eine genauere Untersuchung der Intensitätsschwankungen im Zusammenhang mit den großen erdmagnetischen Störungen vom 16. I. 1938 an und mit dem Nordlicht vom 25. I. 1938. Man erkennt deutlich den Unterschied zwischen der magnetisch ungestörten ersten und der nente; während dieser Zeit sinkt I stark ab, um darauf langsam anzusteigen in dem Maße, wie sich der Ringstrom wieder erholt. Es scheint also, daß diese Störung der Höhenstrahlung in der Gegend des Ringstroms erfolgte und deswegen I wirksamer änderte als die tiefer gelegene Störung vom 25. I. 1938. Diese war mit dem Auftreten eines starken Nordlichtes, also mit starken magnetischen Einflüssen in der Ionosphäre verbunden. Obwohl bei ihr die Schwankungen in X bedeutend größer sind, wirken sie sich auf die Höhenstrahlung weniger aus. Der Impetus in Z ist nur um zwei Stunden gegen den in X verschoben, die Erholung des Erdfeldes und der Höhenstrahlung vollzieht sich in nur 1 1/2 Tagen. Wie zu erwarten, dürften also magnetische Störungen in der Gegend des Ringstroms die Höhenstrahlenintensität wirksamer ändern als in tiefer gelegenen Schichten, etwa in der Ionosphäre.

Werner Kolhörster.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Fritz Süffert, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.